

LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE

LES GRANDES EXPERIENCES DE LA PHYSIQUE

HERTZ

*Comment il a révélé
l'existence des
ondes radio*



ORS SÉRIE - N°30 - DÉCEMBRE 1995

F - 230 FB - 10,30 FS - PORTUGAL CONT 850 Esc

0 Dh - 3,800 DT - \$CAN 5,75

union, Antilles, Guyane - 38F

T 2281 - 30 - 32,00 F-RD



LES VIRUS

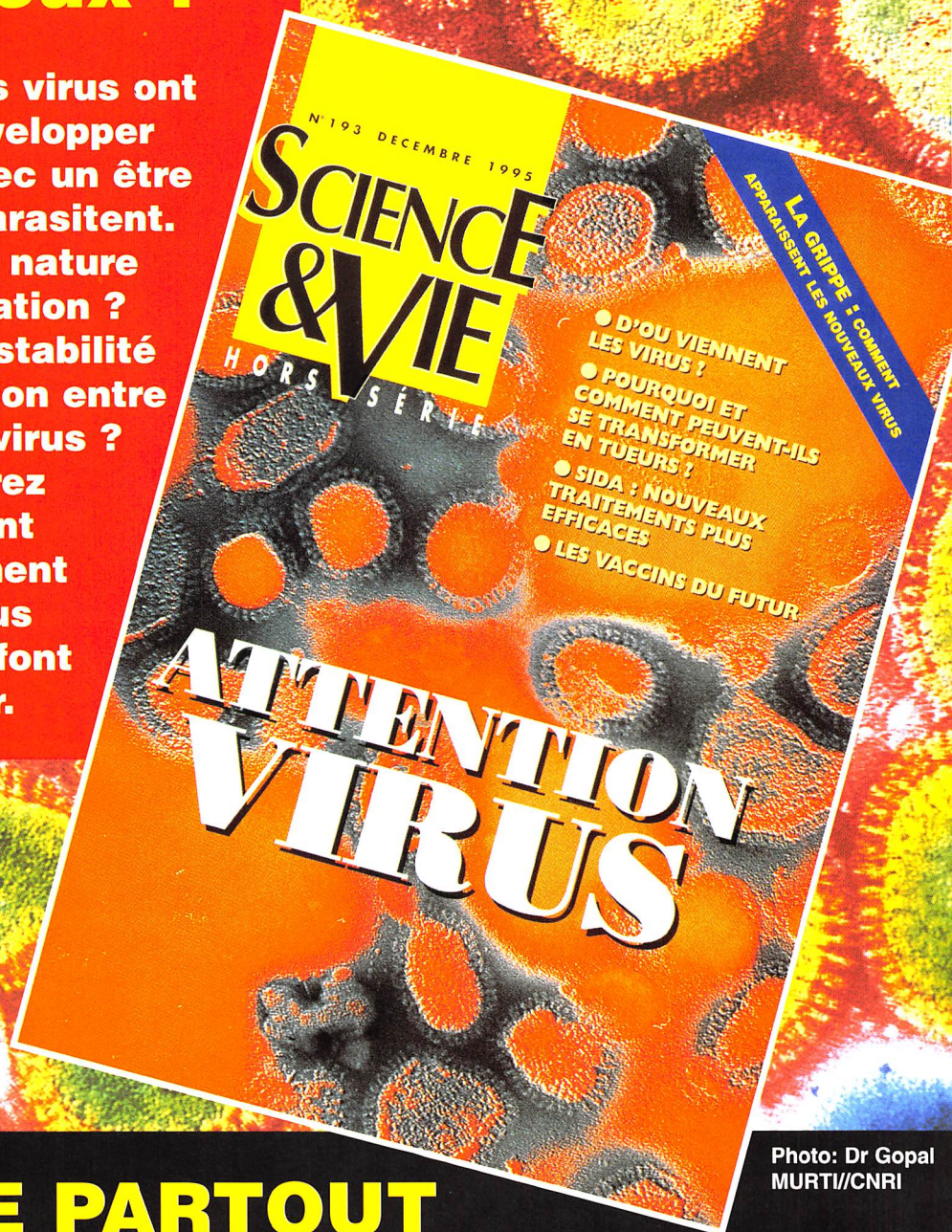
Pourquoi deviennent-ils dangereux ?

Pour exister, les virus ont besoin de développer une relation avec un être vivant qu'ils parasitent.

Quelle est la nature de cette relation ?

Quelle est la stabilité de cette relation entre l'hôte et le virus ?

Découvrez comment fonctionnent ces virus qui nous font si peur.



Virus de la grippe

Photo: Dr Gopal MURTI/CNRI

EN VENTE PARTOUT

LOIN DES BRUITS DU MONDE

Mars 1888, à Karlsruhe, dans le Bade-Wurtemberg. Par une expérience dont le décor confine à celui d'un numéro de magie, Heinrich Hertz vient de vérifier une hypothèse qu'il avait faite trois mois plus tôt : l'action de la force d'induction d'un courant électrique devrait se propager dans l'espace à une vitesse finie et sous forme d'ondes.

Or ces ondes, qu'il qualifie encore d'« électriques », son expérience vient littéralement de les lui faire voir. Depuis Noël 1887, elles ne reposaient que sur un faisceau d'indices. Elles étaient cachées, invisibles, et voici qu'elles lui sont apparues... Stationnaires dans l'espace, parce que, comme il l'avait pensé, elles interfèrent.

Du coup, s'ouvrent devant lui tant de projets de recherche que son premier problème sera de choisir et mener à bien ceux grâce auxquels « *il pourra mettre en ordre certains grands domaines restés jusqu'à présent inexplorés...* »

Sa joie est intense. La nature vient en effet de lui parler dans une langue qu'il est seul, pour un temps encore, à comprendre.

Il l'avait apprise, presque sans s'en rendre compte, en sept ou huit mois, à mesure qu'il avait exploré différents effets d'un appareil qu'il avait inventé, un peu par hasard, à l'automne 1887 : un générateur de courants alternatifs à très haute fréquence, le premier au monde capable de produire des courants qui changent de sens plusieurs dizaines de millions de fois par seconde. Cet appareil, qu'il était seul à posséder, ne devait pas manquer de lui livrer des résultats inédits qui, il en était sûr, le feraient reconnaître par ses pairs comme l'un des meilleurs.

Il avait ainsi méthodiquement appris à le connaître. Il l'avait successivement installé au cœur de dispositifs dérivés les uns des autres, chacun conçu pour l'étude d'un problème spécifique. Maintenant, avec le recul, une chose était certaine. Ses premières expériences n'avaient rien à voir avec ces ondes qu'il venait de découvrir. Quelques mois plus tôt, il eût été bien incapable d'imaginer jusqu'où sa passion expérimentale pourrait le conduire.

Un très beau résultat l'avait néanmoins puissamment conforté : la solution d'une question compliquée d'électrodynamique que lui avait posée son maître Helmholtz, dix ans auparavant. A partir de là, il n'avait presque plus quitté son laboratoire. Il s'était pour ainsi dire immergé dans l'écoute des mots de la nature, comme dans une sorte d'initiation.

Au fil de ces longues heures passées seul, il avait ainsi appris à distinguer la langue presque inaudible qu'elle lui parlait.

C'était un curieux idiome qui produit du sens par variations minimales d'intensité de grésillement et d'éclat de **micro-étincelles**. Il avait habitué son œil et son oreille à percevoir ces variations jusque dans leurs plus subtiles nuances. Et c'est ainsi, par l'apparition et l'extinction dans l'espace de petits traits, plus ou moins sonores et plus ou moins lumineux, que cette distribution régulière et périodique d'énergie électrique, ces ondes stationnaires, lui avait été révélée.

Il avait aussi dû forcer son corps à ne pas brouiller le clair message de la nature, car il avait remarqué que selon la position de ses épaules ou de sa tête, les étincelles variaient. Il avait donc dû inventer des gestes nouveaux. Il lui avait fallu apprendre à circuler dans l'obscurité en déplaçant son résonateur, un appareil dont il avait conçu différentes variantes. En fait un circuit conducteur équipé d'un éclateur, un petit intervalle réglable à l'intérieur duquel se produisent les minuscules étincelles parlantes.

Tous ces gestes détaillés et codifiés, cette longue éducation de son regard et de son audition, il sait qu'il est seul à les posséder. Il n'a eu pour unique témoin de sa découverte que Julius Amann, le technicien qui l'a assisté.

Aussi, le 17 mars 1888, écrit-il à ses parents en phrases qui se bousculent : «... Dans mon travail, j'ai maintenant le sentiment confortable que je suis en quelque sorte sur mon propre sol et territoire et que, de façon presque certaine, je ne suis pas en train de concourir dans une course angoissante, et qu'il ne m'arrivera pas d'avoir à lire tout d'un coup, dans la littérature, que quelqu'un d'autre l'avait fait depuis longtemps. C'est réellement là où commence le plaisir de la recherche, lorsqu'on est, pour ainsi dire, seul avec la nature et qu'on n'a plus à se préoccuper des opinions, idées et prétentions humaines... »

Ainsi parvenu à la quiétude, il goûte au plaisir intense d'être en un point où nul ne peut plus l'importuner. Il est au-delà, loin du monde des hommes et de ses bruits parasites.

Il est à cent lieux d'imaginer que son nom, adjectivé, va, au siècle prochain, désigner les ondes par lesquelles transitent nos milliards de messages planétaires.

HEINRICH HERTZ

ÉDITO

1

UNE VIE

L'IMPATIENCE DU SAVOIR

PAR ALICE ROLLAND

6

UNE JOURNÉE

BERLIN, UN JOUR

PAR CHRISTIANE HOLZHEY

16

L'INVENTAIRE DES COMPOSANTES

DE LA MÉDECINE À LA PHYSIQUE :

**LA BOBINE
D'INDUCTION**

24

PAR GÉRARD CHEVALIER

**DES ÉTINCELLES
ET DES HOMMES**

29

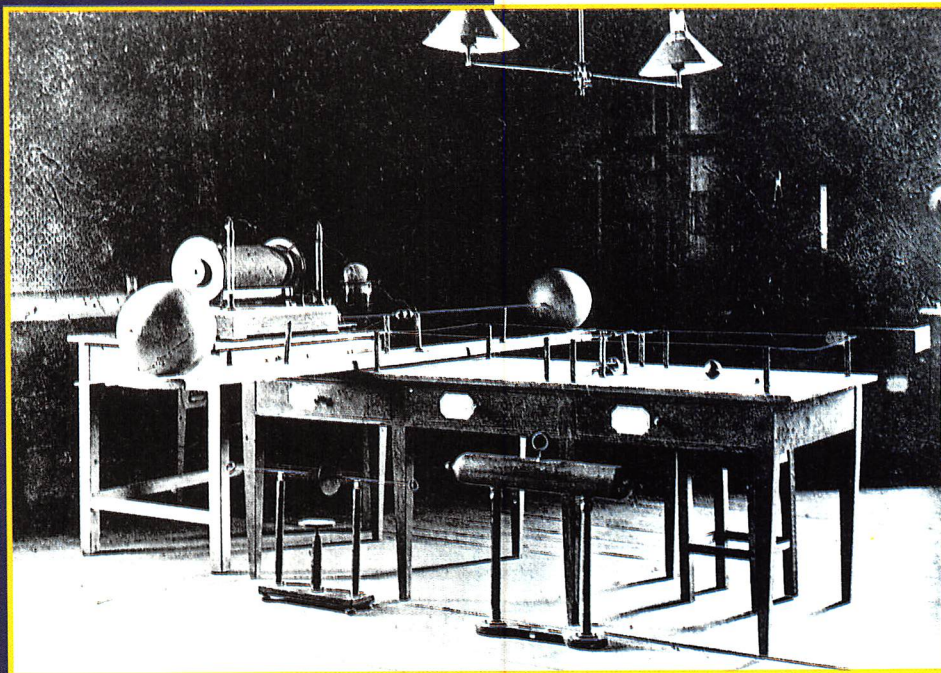
PAR WALTER KAISER
PROFESSEUR D'HISTOIRE DE
LA TECHNOLOGIE, RWTH,
AIX-LA-CHAPELLE

L'AIR DU TEMPS

35

PAR EMMANUEL CHADEAU
PROFESSEUR D'HISTOIRE
CONTEMPORAINE,
UNIVERSITÉ LILLE III

Sommairement installé sur des tables en bois, l'un des premiers oscillateurs de Hertz met en scène une bobine d'induction, des sphères de cuivre et quelques fils conducteurs.



Comment il a révélé l'existence des ondes radio

UN INSTITUT SCIENTIFIQUE DE POINTE 38

PAR DAVID CAHAN

PROFESSEUR AU DÉPARTEMENT D'HISTOIRE DE L'UNIVERSITÉ
NEBRASKA-LINCOLN, ETATS-UNIS

LE RÉCIT DES EXPÉRIENCES

A LA LUEUR D'UNE ÉTINCELLE 46

PAR MANUEL G. DONCEL

DIRECTEUR DU CENTRE D'ÉTUDES D'HISTOIRE DES SCIENCES,
UNIVERSITÉ AUTONOME DE BARCELONE

DESTINS

FORMATION D'UN QUATUOR 68

PAR GÉRARD CHEVALIER

DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ 74

PAR MICHEL ATTEN

HISTORIEN DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES,
FRANCE TÉLÉCOM, CNET, PARIS

LES BRICOLEURS DES ONDES HERTZIENNES 88

PAR CÉCILE MÉADEL

CHERCHEUR AU CENTRE DE SOCIOLOGIE DE L'INNOVATION,
ÉCOLE DES MINES, PARIS

Photo de couverture : Archives de l'Université de Karlsruhe - Dessin A. Meyer.

PRIX NORMAL D'ABONNEMENT

AUX CAHIERS DE SCIENCE & VIE

PANORAMA (1 AN) : 12 NUMEROS +

6 CAHIERS S & VIE : 413 FF

MAXI PANORAMA (1 AN) : 12 NUMEROS +

4 HORS SERIE + 6 CAHIERS S & VIE : 488 FF

CANADA et U.S.A. PERIODICA INC. CP 444 OUTRE-

MONT, Québec, CANADA H2V 4R6 ; SUISSE

NAVILLE Case Postale 1211, GENEVE 1-SUISSE ;

EN BELGIQUE, PRESSE ABONNEMENT 90 BD

DU SOUVERAIN 1170 BRUXELLES,

TARIFS ET AUTRES PAYS NOUS CONSULTER.

PUBLIE PAR EXCELSIOR PUBLICATIONS S.A.

1, RUE DU COLONEL PIERRE AVIA 75503 PARIS.

CEDEX 15 - TEL : 46.48.48.48

EXCELSIOR PUBLICATIONS S.A. CAPITAL

SOCIAL : 11 100 000 F - DUREE 99 ANS

PRINCIPAUX ASSOCIES : YVELINE DUPUY,

PAUL DUPUY.

DIRECTION ET ADMINISTRATION :

PRESIDENT-DIRECTEUR GENERAL : PAUL DUPUY,

DIRECTEUR GENERAL : JEAN-PIERRE BEAUVALET,

DIRECTEUR GENERAL ADJOINT : FRANCOIS FAHYS,

DIRECTEUR FINANCIER : JACQUES BEHAR, DIRECTEUR

COMMERCIAL PUBLICITE : GILLES BECDELIEVRE,

DIRECTEUR MARKETING ET COMMERCIAL :

MARIE-HELENE ARBUS, DIRECTEURS MARKETING ET

COMMERCIAL ADJOINTS : JEAN-CHARLES GUERULT ET

PATRICK-ALEXANDRE SARRADEIL, DIRECTEUR DES

ETUDES : ROGER GOLDBERGER, DIRECTEUR DE LA

FABRICATION : PASCAL REMY.

COMITE DE REDACTION : PHILIPPE COUSIN,

EMMANUEL CHADEAU, BRUNO LATOUR,

MICHEL SERRES, ISABELLE STENGERS.

REDACTION : JEAN-PIERRE ICIKOVICS

(REDACTEUR EN CHEF), GERARD CHEVALIER,

ANNE LEFEVRE (REDACTEURS EN CHEF ADJOINTS),

PATRICIA CHAIROPOULOS, VANINA PIALOT,

ALICE ROLLAND (REDACTRICES),

NAJAT NEHME (SECRETAIRE DE REDACTION),

ALINE HOUILLO (SECRETAIRE),

STEPHANIE DE MAREUIL (ICONOGRAPHE),

DENIS MALARTRE (1^{er} MAQUETTISTE),

MICHEL SOUDAY (MAQUETTISTE),

MONIQUE VOGT (SERVICE DES LECTEURS).

SERVICES COMMERCIAUX : RELATIONS EXTERIEURES :

MICHELE HILLING ASSISTEE DE BLANDINE DEVRIENDT,

ABONNEMENTS : PATRICK SARRADEIL, COMMANDES

D'ANCIENS NUMEROS ET RELIURES : CHANTAL POIRIER

TEL : 46.48.47.18, RELATIONS CLIENTELES ABONNES :

PAR TELEPHONE (1) 46.48.47.08 DE 9H00 A 12H00,

PAR COURRIER : SERVICE DES ABONNEMENTS :

1, RUE DU COLONEL PIERRE AVIA 75503 PARIS CEDEX 15,

CHEF DE PRODUIT MARKETING : CAPUCINE JAHAN

TEL : 46.48.47.30 ; VENTE AU NUMERO : JEAN-CHARLES

GUERULT, ASSISTE DE BERNADETTE CRIBIER ;

REASSORTS ET MODIFICATIONS : TERMINAL E 91

TEL. VERT : 05.43.42.08 (RESERVE AUX DEPOSITAIRES DE

PRESSE). PUBLICITE : VERONIQUE MOULIN EXCELSIOR-

PUBLICITE, INTERDECO 27, 23, RUE DE BAUDIN - 92300

LEVALLOIS-PERRET TEL : 41.34.80.00

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : PAUL DUPUY - DÉPÔT

LEGAL : N° 84007 - N° DE COMMISSION PARITAIRE :

57284 DU 15 DÉCEMBRE 1975 PHOTOGRAVURE : FLASH

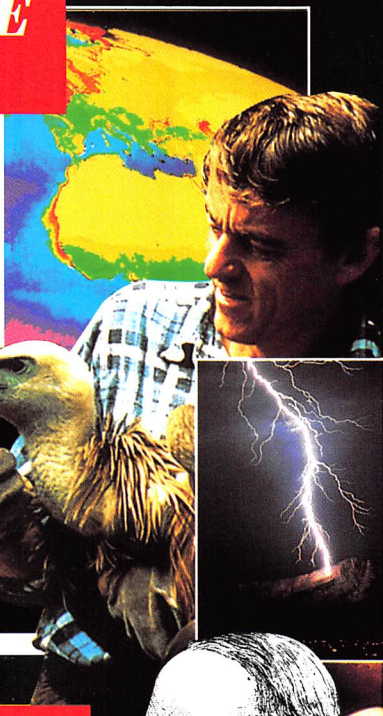
IMAGE - IMPRESSION : IMPRIMERIE SEREGNI, MILAN -

PRINTED IN ITALY

DECOUVREZ LE PANORAMA

SCIENCE & VIE

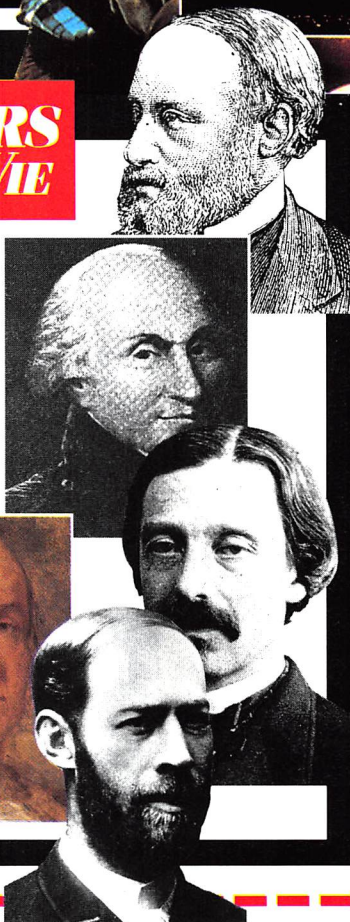
Tous les mois, **SCIENCE & VIE** vous informe parfaitement sur les derniers développements de la recherche, dans tous les domaines scientifiques et techniques. **SCIENCE & VIE**, le magazine d'information scientifique de référence.



TOUS DROITS RESERVES

LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE

Tous les deux mois, **LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE** vous font vivre l'Histoire des sciences comme on ne vous l'a jamais racontée. En 1995, **LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE** vous font entrer dans le secret des laboratoires et découvrir le vrai récit des expérimentations.

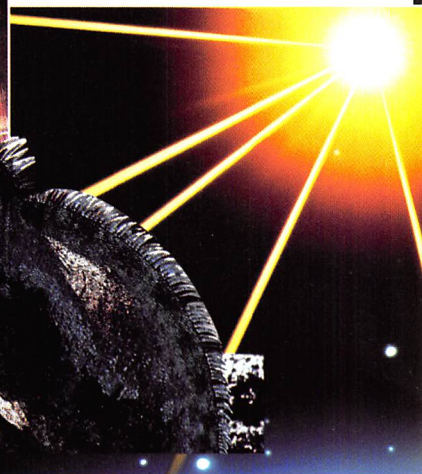


PHOTOS ROGER-VIOLETT

DE LA PRESSE SCIENTIFIQUE...

SCIENCE & VIE HORS SERIE

Tous les trois mois, **LES HORS SERIE** de **SCIENCE & VIE** traitent de façon exhaustive un grand sujet de notre temps. Chaque **HORS SERIE** fait le tour complet d'une question d'actualité scientifique.



TOUS DROITS RESERVE

ET ABONNEZ-VOUS DES AUJOURD'HUI A L'UNE DE CES DEUX FORMULES :

FORMULE N° 1

ABONNEMENT D' 1 AN AU PANORAMA DE LA SCIENCE

12 N°s de **SCIENCE & VIE**
6 N°s des **CAHIERS DE SCIENCE & VIE**

349 francs
seulement au lieu de 468 francs *

FORMULE N° 2

ABONNEMENT D' 1 AN AU MAXI PANORAMA DE LA SCIENCE

12 N°s de **SCIENCE & VIE**
6 N°s des **CAHIERS DE SCIENCE & VIE**
4 N°s **HORS SERIE DE SCIENCE & VIE**

405 francs
seulement au lieu de 568 francs *

BULLETIN D'ABONNEMENT A TARIF PRIVILEGIÉ

à compléter et à retourner avec votre règlement à l'ordre de **SCIENCE & VIE** sous enveloppe affranchie à : **SCIENCE & VIE - Service Abonnements - 1, rue du Colonel Pierre Avia 75503 Paris cedex 15.**

OUI je m'abonne pour un an et à tarif privilégié à la formule suivante que je coche ci-dessous :



FORMULE N°1 : PANORAMA DE LA SCIENCE (18 N°s)
349 francs seulement au lieu de 468 francs * / **119 francs d'économie**



FORMULE N°2 : MAXI PANORAMA DE LA SCIENCE (22 N°s)
405 francs seulement au lieu de 568 francs * / **163 francs d'économie**

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Conformément à la loi Informatique et Liberté du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

OFFRES VALABLES JUSQU'À FIN 1995. ET RESERVEES A LA FRANCE METROPOLITAINE. ETRANGER: NOUS CONSULTER Tel (33-1) 46 48 47 08
Vous pouvez aussi vous abonner par Minitel en tapant 3615 ABON
(*) Prix de vente normal chez votre marchand de journaux

UNE VIE



« **P**arfois, je regrette de n'avoir vécu au temps où tout était à découvrir. » **A**gé de vingt ans, l'auteur de cette phrase croit-il vraiment ce qu'il écrit ? **L**a suite de la courte vie de Heinrich Hertz semble s'inscrire en faux contre cette affirmation de jeunesse. **Q**u'est-ce qui le pousse en effet à s'enfermer, souvent et pendant de longues périodes, dans son laboratoire, cette pièce sombre qui « ressemble à la cuisine d'une sorcière » ? **S**inon le désir d'être le premier à poser le pied sur un territoire scientifique jusqu'alors inviolé...

L'IMPATIENCE



Un journal intime quotidien, une correspondance assidue avec ses parents, Hertz tient de l'école la passion de l'écriture. Travailleur chevronné et fier, il a le goût du défi. Aussi, un combat de tous les jours l'oppose aux doutes qui l'assaillent. Humeurs noires et euphories rythment la courte vie de ce jeune homme entier.

PAR ALICE ROLLAND



HAMBOURG, 1857. Ville industrielle et commerçante, cité libre et hanséatique, c'est alors le plus important port d'Allemagne à l'embouchure de l'Elbe.

Dans Post-strasse, vivent Gustav Ferdinand Hertz et sa femme Anna Elisabeth Pfefferkorn Hertz. Brillant avocat, Gustav Hertz est appelé à une belle carrière : en 1877, il sera nommé juge de cour d'appel, puis en 1887, chef du système judiciaire et membre du sénat de la ville.

Ce 22 février 1857, après une grossesse difficile, Anna Elisabeth

DU SAVOIR

De Berlin, Munich ou Bonn, les lettres de Hertz à ses parents transiteront presque quotidiennement par la poste de Hambourg.



Hertz donne naissance à son premier enfant, Heinrich Rudolf. Les complications survenues lors de l'accouchement en font un miraculé. Si l'on en croit les écrits de sa mère, l'enfance d'Heinrich se déroule dans une atmosphère joyeuse et vivante. Aîné de trois frères et d'une sœur, il montre très tôt de prometteuses

1870, les Hertz chez eux. Trois ans plus tard, une sœur viendra agrandir le cercle familial. En haut, à gauche, Heinrich et son jeune frère, Gustav.

capacités dans la plupart des disciplines qui lui sont dispensées. Ses parents, très ouverts d'esprit et cultivés, encouragent les talents et les



IL - VIOLET

intérêts individuels de leurs enfants en veillant scrupuleusement à leur éducation. Les proches de la famille prétendent qu'Heinrich tient son sens pratique et son sens du devoir de son père, son caractère aimable de sa mère.

De 1863 à 1872, Heinrich – Heins comme l'appelle sa mère – est inscrit à l'école privée du Dr Richard Lange, maître sévère à la discipline très stricte. Durant ses premières années, Hertz apprécie tout particulièrement « l'esprit de compétition qu'on maintient éveillé en nous, et la conscience des professeurs qui ne laissent jamais le mérite sans récompense ni l'erreur sans punition. » Désir affiché, être le premier de la classe. A l'âge de 10 ans, il écrit dans son journal : « J'ai un nouveau cartable... Maman espère que je ne rapporterai que de bons carnets de notes dans ce cartable. Je l'espère aussi, mais je n'y crois pas. Cependant, je ferai tout mon possible... »

Élève appliqué, Hertz se passionne pour toutes les disciplines : mathématiques, physiques, langues, écriture, travaux pratiques. A 12 ans, son père lui offre son premier établi et quelques outils. Il confectionne divers objets en bois ou en métal et s'inscrit à la *Gewerbeschule* – école professionnelle – de la ville. L'habi-

leté qu'il développe sera l'un des principaux atouts de sa future carrière...

Une discipline, toutefois, résiste à ses offensives répétées : le chant. Le 1^{er} avril 1869, dans un rapport sans appel, l'école le dispense de cette discipline après quatre années de longs exercices : « *En ce qui concerne la compréhension théorique, Heinrich est parmi nos meilleurs élèves, mais pour ce qui est des exercices musicaux, nous ne faisons malheureusement aucun progrès.* »

En 1872, son père le retire de l'école du D^r Lange. Son éducation est assurée par des précepteurs privés. L'histoire et la philologie lui permettent d'appréhender aisément la littérature et la poésie. Dante, Homère et les tragédies grecques, qu'il lit couramment dans le texte, deviennent les compagnons d'une solitude naissante. Bouillonnant sans être turbulent, Hertz a de l'énergie à dépenser et cette nouvelle forme d'éducation lui accorde trop de temps libre. L'inactivité le déprime. Une seule discipline lui permet de pallier cet état : les mathématiques. Enfermé dans sa chambre, il passe des heures à lire les manuels relatifs à une science qui a toutes ses faveurs. Tout problème a une solution. Il s'attache à trouver la plus simple.

En 1875, il passe son *Abitur* et obtient le diplôme requis pour entrer à l'Université. Encouragé par son habileté à dessiner et à fabriquer des instruments, il s'oriente vers le métier d'ingénieur en construction : « *C'est seulement au cas où je m'avèrerais inapte à cette profession, ou au cas où mon intérêt pour les sciences de la nature devrait croître encore, que je me consacrerai à la science pure.* »

Aussi Dieu veille à ce que je choisisse ce pour quoi je suis le plus apte. »

En mars 1875, il quitte le cocon familial pour se rendre à Francfort. Il diffère son entrée à l'Université et suit, pendant un an, un stage pratique auprès d'un maître de construction dans le département des Travaux publics de la ville.

L'éloignement lui pèse. Il écrit presque quotidiennement à ses parents. Et puis, son travail l'ennuie : maquettes d'édifices, modelages, réalisation de plans. Que s'attendait-il à faire d'autre ? Il consacre son temps libre à la lecture – *La République* de Platon et les pièces d'Euripide –, les mathématiques, l'économie politique et la physiologie.

Un an plus tard, il déménage pour Dresde et s'inscrit à l'Institut polytechnique. Physique, géographie descriptive, psychologie comparative ne correspondent pas à ses aspirations. En revanche, il assiste assidûment aux leçons de calcul intégral du professeur Leo Königsberger. La géométrie analytique et le calcul différentiel lui ouvrent de nouvelles perspectives : « *J'ai été à la bibliothèque pour me documenter sur la projection*

oblique dans la revue de Schlömilch de 1871 ; je n'ai quasiment rien compris à l'ensemble des articles, cela m'a effrayé, de même que l'abondance des journaux disponibles. Je suis parti déprimé... » La *Critique de la Raison Pure* de Kant et les ouvrages de Dickens comblent ses moments de loisir.

Membre d'une organisation étudiante, il participe à quelques beuveries initiatiques : « *Ils sont tous bien sûr très gentils, mais mes impressions restent floues : devrais-je les considérer comme de bons amis ou comme de mauvais esprits cherchant à séduire une pauvre âme ?* », écrit-il à ses parents le 26 avril 1876.

Le 1^{er} octobre, il part faire son service militaire, réduit à un an depuis l'unification de l'Allemagne. A Berlin, il est incorporé dans un régiment de transport. La discipline militaire lui



convient ; les exercices en plein air le rassurent sur une santé toujours un peu fragile. Bien sûr, l'utilité d'une telle expérience le laisse songeur. Les exercices intellectuels sont si rares que Hertz se perd dans ses pensées. Le doute l'assaille. Cette « parenthèse », dit-il, suscite bien des interrogations. Veut-il réellement être ingénieur en construction ? Est-il concevable de laisser de côté ce qui le passionne ?

L'ANNÉE SUIVANTE, sur les conseils de son père, Hertz part pour l'Institut polytechnique de Munich. Une fois sur place, il décide de changer radicalement d'orientation. Anxieux de la réaction d'un père omniprésent dans ses décisions, il lui écrit le 1^{er} novembre 1877 pour lui demander l'autorisation d'abandonner ses études d'ingénieur : « *C'est une confession honteuse que j'ai à vous faire : je voudrais changer de cap, maintenant, au dernier moment, et me consacrer aux sciences de la nature (...). Je ne sais pourquoi cette volonté ne s'est pas imposée à moi auparavant, car déjà, en venant ici, je voulais étudier les mathématiques et les sciences de la nature sans aucune intention de me consacrer à la surveillance de la construction de nouveaux bâtiments.* » Il est conscient qu'il prend un risque : « *Je n'ai pas oublié ce que je me suis souvent dit : je préférerais certes être un grand chercheur scientifique plutôt qu'un grand ingénieur ; mais je préférerais être un ingénieur de second ordre qu'un chercheur de second ordre.* » Mais ne faut-il pas écouter Schiller : « *Si vous n'osez pas jouer votre vie, vous ne pouvez espérer gagner la lutte* » ?

Hertz quitte donc l'Institut polytechnique et s'inscrit à l'université de Munich. Sur les conseils de Philipp von Jolly, professeur de physique, il



PHOTOS IL - VIOLET

L'université de Munich et la Porte Charles augurent d'une ville agréable. Les bâtiments publics et les édifices me semblent très en avance sur Berlin, note Hertz.

se plonge dans la lecture des ouvrages de Lagrange et Laplace. Il se familiarise avec le développement historique des mathématiques et de la mécanique. « *Parfois, je regrette de n'avoir vécu au temps où tout était à découvrir* », écrit-il. N'y a-t-il rien de nouveau qu'il pourrait découvrir, qui le ferait remarquer et sortir d'un lot d'étudiants avec qui, hormis une concurrence acharnée, il a peu d'affinités ? Un sentiment d'impuissance le gagne. Il se plaint que ses études stagnent. Le matériel du laboratoire de l'Université est si réduit et obsolète qu'il ne peut s'adonner à la recherche et à la réalisation d'expériences, domaine qu'il affectionne tout particulièrement.

Une compensation cependant, Munich est une ville agréable et il passe de longues heures dans les musées, les galeries d'art et les parcs. Il s'inscrit au laboratoire de l'Institut polytechnique, fort bien équipé, et



met ainsi en pratique ce qu'il lit dans les revues les plus récentes de mathématiques et de physique. « *Je progresse lentement. (...) Je crois que j'ai atteint le stade où j'ai maintenant une petite idée sur chaque domaine – et ce qu'il recèle – de la science mathématique, si bien que je ne m'arrête plus sur des mots étranges que je n'ai jamais entendus* » : Hertz semble avoir trouvé sa voie et se réjouit de ses études.

Mais peu à peu, une angoisse latente resurgit : « *Parfois je perds mon temps à essayer de chercher des solutions plus simples aux problèmes,*

des preuves plus évidentes aux théorèmes. Mais lorsqu'en fin de compte j'y parviens, quelques jours après, je retrouve ces mêmes solutions et preuves dans tel ou tel livre que j'aurais mieux fait de lire. » Des livres, il admet leur utilité mais semble leur reprocher leur simplicité. Tout n'est que chiffres et équations, la pratique et les exercices sont inexistantes. Or, c'est vers cette recherche et ces expériences que Hertz veut se tourner à présent. Vers la création, la découverte. Au moins, cette année à Munich ne sera pas sans résultat. A 21 ans, son choix est fait : *« Obtenir des informations pour moi-même et pour les autres, directement de la nature, me donne tellement plus de plaisir que d'apprendre uniquement des autres et pour moi seul – à tel point que je peux à peine l'exprimer. »* En octobre 1878, il part pour Berlin.

C'est alors le centre allemand du monde universitaire qui accueille des professeurs prestigieux comme Hermann von Helmholtz et Gustav Kirchhoff, respectivement nommés professeurs de physique en 1871 et 1875. L'Institut de physique est à la hauteur des espérances de Hertz : une bibliothèque très riche, des laboratoires à l'équipement moderne, bref, un environnement idéal qui peut lui donner l'occasion de tester ses aptitudes.

Il attire l'attention de Helmholtz qui lui propose de concourir pour le prix offert par la faculté de philosophie. Le problème posé porte sur l'inertie des courants électriques dans les conducteurs. Malgré son unique année d'étude en poche, Hertz relève le défi. Peu à peu, les liens se resserrent avec Helmholtz qui suit quotidiennement les progrès de son jeune disciple. Hertz remporte le concours. Les *Annalen der Physik* lui offrent sa première publication. Helmholtz met une salle à sa disposition dans son Institut de physique.

Une complicité s'établit progressivement entre les deux hommes. Hertz travaille avec acharnement à tous les sujets que lui soumet son mentor. Il veut l'étonner, prouver ses capacités.

POUR HERTZ, rien n'importe réellement en dehors de ses recherches. Toute autre occupation lui donne le sentiment d'être un membre inutile de la société. Il possède maintenant son propre bureau qu'il organise avec minutie. Il assiste aux cours de Helmholtz qu'il avait jusqu'à présent délaissés pour se consacrer à ses recherches. En revanche, après avoir assisté à ceux de Kirchhoff au premier semestre sur les théories du magnétisme et de l'électricité, il décide que ceux du second semestre ne requièrent pas sa présence assidue. *« Je me suis aussi inscrit aux cours de Mécanique de Kirchhoff, mais comme ses conférences sont la réplique de son livre que je maîtrise parfaitement, pour l'instant, je n'y assiste pas. Plus tard, lorsqu'il abordera certains chapitres difficiles, j'irai certainement l'écouter. »* La concurrence est âpre. Afin de ne pas s'égarer en futilités, il restreint les leçons auxquelles il participe. Mais il va falloir qu'il redouble d'ardeur dans ces matières choisies : *« Il est vrai que les gens travaillent vraiment beaucoup ici ; ceci est plus ou moins contagieux et, en me demandant si je me suis inscrit à un nombre suffisant de cours, j'ai déjà quelques scrupules. Quoi qu'il en soit, cet état d'esprit me plaît. (...) Et il est agréable de ne pas avoir à s'excuser lorsque l'on a du travail à faire. »*

Les premiers contacts avec ses collègues de travail laissent présager des querelles internes enrichissantes. La première place sera dure à conquérir ! Craignant d'être considéré comme un enfant gâté, il n'a de

cesse de se justifier et de s'excuser auprès de ses parents. Il se sent redevable du soutien moral et... financier qu'ils lui apportent : *« Vous n'êtes pas fâchés que je sois si gâté n'est-ce pas ? Je crains que cela ne soit le cas toute ma vie et j'ai peur de n'être jamais capable de combler vos désirs. »*

Pendant l'été 1879, Hertz examine les moyens expérimentaux de répondre à une nouvelle question : posée par Helmholtz, elle fait l'objet d'un concours de l'Académie des sciences berlinoise. La difficulté le fait reculer. Le temps de mettre au point les expériences lui apparaît trop long : *« La pensée de travailler en secret pendant trois ans était un cauchemar »,* confie-t-il à ses parents. Il est soulagé de recevoir l'approbation de Helmholtz et se tourne vers un problème purement théorique : les courants induits dans des sphères métalliques en rotation dans un champ magnétique. Il présente son étude comme dissertation doctorale. Le 5 février 1880, après seulement cinq semestres à l'Université, il obtient le diplôme de docteur en physique. Stimulé par ce succès, il ne sort plus de son laboratoire. Il écrit à ses parents qu'il pourrait concevoir plus de projets de recherche en un jour qu'il ne pourrait en mener à bien en un an.

En août 1880, Helmholtz lui propose un poste d'assistant salarié à l'Institut de physique de Berlin. Son travail consistera à superviser les séances de travaux pratiques et à assumer la responsabilité d'une partie de l'équipement. Toujours soucieux de n'avoir jamais assez à faire, Hertz accepte avec enthousiasme.

Chaque jour, de 10 heures à 15 heures, il contrôle le travail de cinq étudiants. Mais l'euphorie est de courte durée. Il se sent prisonnier d'un enseignement qui l'ennuie et qui l'agace. De toute évidence, ces étu-

dians ne sont pas ici à leur place : « *Je ne peux réprimer une certaine colère car je me sens plus esclave que professeur* », se plaint-il.

Au cours de ses longues heures de temps libre, il s'attelle à ses propres recherches. Elles l'entraînent sur le terrain de la théorie : « *Il me semble presque impossible de faire des recherches expérimentales lorsque j'ai autre chose en tête et, pour le moment, je me suis résigné à considérer ce magnifique laboratoire comme un luxe* », écrit-il. Le sujet qui l'occupe alors concerne l'élasticité : que se passe-t-il lorsque deux corps solides sont en contact ? Son développement mathématique original donne matière à un projet d'article. Il le soumet à une revue dont l'un des experts chargés d'examiner les papiers avant publication n'est autre que Kirchhoff. Celui-ci, annotant en détail l'article rédigé par Hertz, relève une erreur de calcul et, de plus, suggère d'importantes modifications. Hertz en prend ombrage : « *Ses commentaires disent à peu près la même chose (et en tout cas pas mieux) que ce que j'avais écrit*. » Et, sans se laisser démonter, le jeune homme entreprend de prouver au professeur Kirchhoff le bien-fondé de son argumentation. Le 30 juin 1881, il annonce sa victoire à ses parents : « *De plus, en relisant mon article, je me suis aperçu que Kirchhoff avait commis la même erreur que moi (ce que j'avais écrit n'était simplement pas assez clair) et je le lui ai démontré* » ! A sa grande surprise, ses travaux théoriques sur l'élasticité trouvent rapidement une application pratique : les ingénieurs qui développent des appareils de géodésie s'en emparent avec profit...

Hertz retourne ensuite au laboratoire et se livre à des expériences sur l'évaporation : que se passe-t-il dans un espace qui ne contient qu'un liquide et sa propre vapeur ? Les

résultats expérimentaux le soumettent au régime de la douche écossaise : « *Le résultat magnifiquement positif que je croyais tenir fermement entre mes mains s'est transformé en un résultat totalement négatif. Je me suis d'abord senti complètement défait, mais je me suis maintenant à peu près consolé et j'ai plus de courage qu'auparavant. Je suis seulement désolé de tout ce temps perdu...* »

Hertz devient un membre assidu des conférences de la Société de physique de Berlin. Il y fait part de ses résultats en lisant ses articles devant des collègues chevronnés. C'est le lieu idéal pour développer son cercle de relations scientifiques : « *Je m'entends bien avec de nombreux collègues (qui, pour la plupart, travaillent indépendamment) ; ils me montrent leur travail – ce qu'ils ne font pas avec n'importe qui –, ils en discutent avec moi, et parfois me demandent des conseils. J'aime beaucoup ça, premièrement parce que les sujets m'intéressent, deuxièmement, parce que j'apprends beaucoup à travers ces contacts, et enfin troisièmement, parce que je peux ainsi comparer ma force à la leur* », écrit-il.

EN JUIN 1882, Hertz change à nouveau de sujet d'intérêt. Depuis une dizaine d'années, son collègue Eugen Goldstein déclenche des phénomènes lumineux et intrigants dans des tubes contenant un gaz raréfié. Hertz voit la possibilité de créer des effets inédits avec ce qu'on appellera bientôt les rayons cathodiques. Saisi par l'enthousiasme de la nouveauté, il s'enferme dans son laboratoire : certes, « *ce n'est pas drôle de rester dans une pièce totalement sombre, alors que les rayons du soleil frappent sur les volets et chauffent la pièce, alors que toutes sortes de fils qui traî-*

nent peuvent engendrer de fortes secousses électriques si on les touche par inadvertance. Mais on ne peut pas faire de progrès autrement. En plein milieu, pour mon réconfort, trône la cloche lumineuse dans laquelle les gaz se livrent aux plus folles acrobaties sous l'influence des décharges. Ils produisent les phénomènes les plus étranges, les plus variés, les plus colorés... Ma pièce ressemble de plus en plus à la cuisine d'une sorcière. »

En société, Hertz mène une vie particulièrement active. Il est régulièrement invité chez les Helmholtz : « *L'appartement est magnifiquement meublé ; les pièces sont exceptionnellement grandes.* » Les soirées mondaines l'attirent peu. Sa réticence naturelle l'oblige à s'y rendre à contrecœur, par crainte de s'y ennuyer ou pire, d'y perdre un temps précieux qu'il pourrait employer à ses recherches.

En février 1883, Kirchhoff lui propose de soutenir sa candidature pour un poste de Privatdozent – conférencier – à l'université de Kiel. Bien que conscient du peu d'équipement expérimental disponible à Kiel, la perspective d'un poste fixe en physique-mathématique le rassure.

Il doit songer à sa carrière. Bien sûr, il admire profondément Helmholtz qui lui soumet de nombreux travaux de recherche. Mais certains nécessiteraient plusieurs années d'étude. A-t-il du temps à perdre ? Rester « sous la coupe » de son mentor ne risquerait-il pas d'entraver les recherches qu'il entend mener pour son propre compte ?

Les deux années passées à Kiel lui laisseront peu de bons souvenirs. Tout d'abord, il lui faut passer un examen qui, formellement, conditionne son acceptation par l'Université. L'angoisse le tenaille. « *Je n'ai pas vraiment peur. Mais, même si on vous répète une centaine de fois que le pis-*

toilet n'est pas chargé, c'est toujours un peu ennuyeux de l'avoir pointé sur soi », commente-t-il à ses parents.

« Les débuts sont toujours difficiles... », reconnaît-il. Toutefois, petit à petit, le nombre de ses étudiants s'accroît. Ils sont 5, puis 10, puis 20. Mais c'est une maigre consolation au regard de leurs capacités, dont Hertz doute fortement : « Devrais-je soudainement dire : Messieurs, je vois que vous ne me comprenez pas ; cela doit être très ennuyeux pour vous ; je vais donc plutôt vous lire un passage des Mille et Une Nuits ».

Officier de réserve de l'armée, il part pour quelques semaines de manœuvre à l'été 1883. Revigoré par ce séjour en plein air, il s'interroge : « Je suis presque devenu adepte de la vie vagabonde ; par comparaison, la théorie de l'électricité me semble maintenant fort lointaine, si éloignée de moi que je serais presque en accord avec la question typiquement militaire : à quoi bon toutes ces balivernes ? »

De retour à l'Université, Hertz consacre une partie de l'hiver à « réfléchir sur l'électromagnétisme ». En février, il s'interroge sur « la dynamique de la chute des gouttes ». Au mois d'avril 1884, le décès soudain de son jeune frère Otto le marque profondément. Il sombre dans la dépression. Son journal enregistre ces noires journées : « 12 avril. Funérailles, quelques mots sur le cercueil. 13 avril. Visite au cimetière. Dimanche de Pâques. 14 avril. Terrible Lundi de Pâques. » A Kiel, ses recherches piétinent. Le laboratoire est si démuné qu'il doit se contenter d'imaginer les travaux qu'il pourrait mener.

Hertz se plonge dans l'étude approfondie des diverses théories de l'électromagnétisme : Helmholtz, Weber, Maxwell. Il tente de découvrir un principe unificateur. La succession des notes très brèves qu'il consigne

dans son journal est éloquente : « 11 mai – Travaillé dur sur l'électromagnétisme maxwellien dans la soirée. 13 mai – rien d'autre que l'électromagnétisme. 16 mai – travaillé sur l'électromagnétisme toute la journée. 19 mai – tombé sur la solution du problème électromagnétique ce matin... 28 juin – terminé l'électromagnétisme. » Malheureusement, l'enthousiasme retombe très vite : « 4 juillet – électromagnétisme, toujours sans succès. 11 juillet – réfléchi inutilement à l'électromagnétisme pendant la plus grande partie de la journée. 14 juillet – rien d'autre que l'électromagnétisme. 17 juillet – déprimé ; n'arrive à rien faire du tout. » Au mois d'octobre, une nouvelle tentative n'est pas plus heureuse : « 25 octobre – réfléchi à l'électromagnétisme. 29 octobre – très mauvaise humeur. »

Ces sombres réflexions fournissent cependant matière à publications. Elles suscitent les réactions les plus diverses dans la communauté des physiciens de langue allemande. La notoriété de Hertz grandit. On parle de lui et, bientôt, des rumeurs circulent. La Technische Hochschule de Karlsruhe serait intéressée par sa venue comme Professeur en titre. Le 20 décembre 1884, la rumeur se transforme en invitation officielle. Hertz se rend alors à Berlin pour prendre conseil auprès de Helmholtz. Il revoit Kirchhoff et rencontre Friedrich Althoff, responsable des Universités, figure principale du système universitaire allemand.

Le 28 décembre, Hertz est à Karlsruhe, considérée comme l'une des villes les plus attrayantes d'Europe, au nord de la Forêt Noire. Comme à son habitude, il se rend d'abord au laboratoire de la faculté qui s'avère à la mesure de ses attentes. Hertz se souvient de la promesse d'Althoff à Berlin de fournir des crédits supplémentaires à la faculté pour en faire

une université technologique de premier rang.

Seule ombre au tableau : à 27 ans, il se sent seul. Le 21 avril 1885, il s'adresse à ses parents : « Si je ne suis pas marié d'ici la fin de l'année, je serai dans une colère noire. » Il lui faudra patienter un peu plus longtemps... Le 31 juillet 1886, il épousera Elisabeth Doll.

Les six premiers mois à Karlsruhe, Hertz s'essaie à des expériences sur des sujets variés. Il donne également des cours pratiques d'électrotechnologie : « Aujourd'hui j'ai commencé mes cours expérimentaux ; ce sont aussi des "cours d'angoisse" et la préparation de chaque expérience suscite toujours la même question : tout se déroulera-t-il comme prévu ? Car la meilleure des préparations n'est absolument pas une sauvegarde contre les perversités de la nature. »

AU PRINTEMPS 1886, en manipulant un banal instrument de travaux pratiques, une paire de « spirales de Riess », Hertz découvre un effet étrange : des étincelles jaillissent là où on ne les attendait pas. Il s'acharne à en comprendre les raisons. En chemin, il met accidentellement en évidence l'action des rayons ultra-violet sur ses étincelles. Il tente d'en expliquer le fonctionnement à son père : « C'est certainement une découverte, parce qu'il s'agit d'un phénomène complètement nouveau et très intrigant. Je suis évidemment le moins capable de juger si c'est une "belle" découverte, mais il m'est agréable d'entendre les autres en parler en ces termes ; il me semble que seul le futur dira si elle est importante ou non. »

A la fin de l'année 1887, Hertz est sur la piste de la propagation des ondes électromagnétiques. Le 23 décembre 1887 au matin, il écrit à ses

parents : « Selon une belle et importante théorie, ces effets se propagent à une vitesse limitée qui est équivalente à celle de la lumière ; et je n'ai moi-même jamais douté de la véracité de cette théorie. Maintenant, il m'est possible de mesurer une telle vitesse (...) Il y a 20 ans, Helmholtz avait lui-même tenté cette expérience et réussi, avec de grandes difficultés, à établir que la vitesse de propagation était supérieure à 42 miles par seconde. Mais ici, il s'agit de 42 000 miles ! ⁽¹⁾ » Le soir même, ses espoirs sont comblés, comme il le raconte trois jours plus tard : « J'ai reçu un beau cadeau dans mon travail, la nuit précédant Noël (...) la nature semble être mieux disposée à mon égard qu'auparavant. Nous verrons bien ! »

Pour la première fois, Hertz porte un regard heureux sur l'année écoulée. Elle s'est révélée féconde à un autre titre : sa première fille Johanna est née le 2 octobre 1887. Vient le temps de faire part du résultat de ses recherches à la communauté scientifique : « Dans mon esprit, c'est si simple et si clair. Mais une fois écrit cela semble si pénible à déchiffrer qu'un autre sentiment survient. Est-ce réellement vrai ou toutes ces observations ne sont-elles pas le fruit de l'imagination ? »

Helmholtz, régulièrement tenu au courant de l'avancée spectaculaire des recherches de son ancien élève, facilite la publication rapide de ses articles dans la meilleure revue d'Allemagne. Paradoxalement, c'est en Grande-Bretagne qu'ils suscitent le plus grand retentissement. Les disciples de Maxwell y voient immédia-

1 - Il s'agit ici du mile postal, équivalent à environ 7,6 kilomètres.



ARCHIVES DE L'UNIVERSITÉ DE KARLSRUHE (TH)

ses disponibilités : « Les seules obligations de M. Hertz seront le cours de physique expérimentale et la direction du laboratoire. Il doit se garder du temps libre pour son travail de façon à ce qu'il puisse concrétiser en paix ses recherches sur ces choses qui se propagent. »

Hertz accepte. « Personnellement, je suis désolé que vous n'ayez pas voulu venir à Berlin. Mais comme je vous l'ai déjà dit, je crois qu'il est de votre intérêt d'aller à Bonn. Les physiciens qui ont encore un important labeur scientifique en perspective sont mieux placés à l'écart des grandes cités », lui écrit Helmholtz.

Les dernières conférences de Hertz à Karlsruhe remportent un vif succès. Il devient correspondant de l'Académie de Berlin. Ravi de cette reconnaissance, Hertz est parvenu à ce qu'il désirait tant. Mais il voit aussi dans cette notoriété et les obligations qu'elle implique une distraction qui l'écarte de « la paix intérieure et extérieure requise pour un complet investissement dans ces recherches. »

De plus, sa santé lui cause quelques soucis. Il est surmené et souffre presque constamment des dents et de ses yeux qu'il ne ménage guère. Le 3 avril 1889, aspirant à un environnement plus calme et reposant, il part pour Bonn.

L'installation est longue et laborieuse. Les Hertz achètent la maison de Clausius. Attendant à la faculté, elle leur a été fortement déconseillée. En d'autres temps, celle-ci servait de clinique médicale et... des risques de contamination sont encore à craindre. Mais comment refuser la maison d'un illustre prédécesseur ? Ses collègues se bousculent à sa porte. Cette vie sociale intense irrite

Les propositions affluent. Laquelle choisir ? Berlin, Bonn, le Massachusetts ?

tement la confirmation expérimentale de leur théorie et engagent avec Hertz une correspondance enthousiaste et fructueuse. Avec ce « coup d'accélérateur » britannique, la notoriété de Hertz s'étend à toute l'Europe et traverse l'Atlantique. A Karlsruhe, il rencontre, en février 1889, le célèbre psychologue américain G. Stanley Hall qui lui offre le poste de directeur de l'Institut de physique de l'université de Clark, Massachusetts. Hertz refuse. A la mort de Kirchhoff, on lui propose la chaire de physique théorique qu'il occupait à Berlin. Hertz décline la proposition, préférant de loin une chaire de physique expérimentale. Althoff emporte ses suffrages en lui proposant un poste à Bonn, à un salaire très correct. Il lui promet aussi de faciliter ses recherches tant sur le plan matériel que sur celui de



Hertz qui a le sentiment de vivre sur l'acquis de son travail précédent.

Sa première tâche consiste à remettre de l'ordre dans un laboratoire presque à l'abandon. Il fait l'inventaire de tous les instruments. « On peut se demander si je serai remercié pour l'avoir fait, mais on doit remettre de l'ordre au moins une fois tous les 20 ans, et comme je compte rester ici longtemps, autant que je le fasse tout de suite. »

Ses conférences se succèdent devant un public assidu et comblé. Des allocutions remarquables de vulgarisation joignant intelligibilité et précision scientifique. « Aujourd'hui, nous avons écouté l'intervention du Pr Hertz ; vraiment elle fut extraordinairement bonne, d'un style irréprochable, pleine de tact et de goût. Elle souleva un tonnerre d'applaudissements », relate Helmholtz à sa femme.

La communauté scientifique le salue. La *Manchester Philosophical Society* l'accueille. La *Royal Society* de Londres lui remet la Médaille Rumford le 7 novembre 1890. Il s'y rend le 28 et rencontre les plus grands chercheurs britanniques, dont Sir



COLL. VIOLET

William Thomson et G.G. Stokes.

Lors d'un voyage à Heidelberg pour un congrès de *Natural Scientists*, Ernst Werner von Siemens, inventeur de la dynamo, l'apostrophe : « Cela n'a pas de sens. Vous devez venir à Berlin. » Il s'entretient aussi avec

Thomas Edison, qui lui, ne s'occupe « que d'inventions, pas de science. »

Dans la mesure du possible, Hertz parvient à concilier vie sociale, familiale – sa seconde fille naît le 14 janvier 1891 – et professionnelle. Au printemps 1891, il s'adjoint les services d'un assistant, Philipp Lenard⁽²⁾, physicien expérimentateur très habile. Ensemble, ils étudient les rayons cathodiques.

Hertz enchaîne les conférences. Le 31 août 1891, il publie un article commémorant le 70^e anniversaire de Helmholtz. Il fait quelques voyages en Italie, en Suisse, et remplit, par périodes, ses obligations militaires comme officier de réserve.

2 – Lenard (1862-1947) recevra le prix Nobel de physique 1905 pour ses travaux sur les rayons cathodiques. Plus tard, ce fervent supporter d'Hitler écrira en 1943 un article ignominieux sur Hertz et ses origines juives. Car le grand-père paternel de Hertz était un juif converti au luthéranisme en 1834... Cette ascendance avait contraint la veuve de Heinrich Hertz et ses enfants à fuir l'Allemagne en 1936.



ILL. ROGER VIOLET

A Bonn, Hertz réside jusqu'à sa mort dans l'ancienne demeure de Clausius. Il est nommé professeur à l'Université en 1889. Deux ans plus tard, il aura pour assistant Philipp Lenard...

Mais en juillet 1892, un mauvais rhume met un terme à ses activités. « Mon nez est mon univers », écrit-il à ses parents. Un abcès dentaire mal soigné aggrave son cas. Il subit une opération destinée à ôter une tumeur au pharynx. Une lente convalescence l'oblige à annuler tous ses cours et autres travaux à l'Institut. La guérison tarde à venir : « Ils font de leur mieux pour moi, mais malheureusement, nous connaissons tous les limites du pouvoir des médecins. »

Au printemps 1893, sa santé semble s'être améliorée. Hertz reprend ses cours : « Je vais mieux. Je me sens peu affecté par toute cette histoire. Un seul inconvénient demeure ; je ne peux toujours pas rire. Sourire m'est difficile et les gens devraient me remercier de leur montrer un visage agréable, car je le paie cher. »

Le 7 décembre 1893, il donne sa dernière conférence. Deux jours plus tard, il s'adresse à ses parents : « Je ne désirais ni n'ai choisi ce destin ; mais puisque lui m'a choisi, je dois m'en accommoder ; si on m'avait laissé le choix, peut-être aurais-je moi-même opté pour cette fin. » Le 1^{er} janvier 1894, une septicémie l'emporte. ■

UNE JOURNÉE



Le laboratoire berlinois du professeur Helmholtz est l'un des hauts lieux de la physique allemande. **H**ertz y entre en octobre 1878. **S**itôt arrivé, il est invité à concourir pour répondre à une question mise à prix par la Faculté de philosophie. **L**'enjeu est d'importance, autant pour sa future carrière que pour la théorie de son maître. **S**era-t-il à la hauteur ? **H**ertz oscille entre anxiété et ambition.

BERLIN, UN



Y JOUR

Sous les Tilleuls : l'avenue qui mène à
l'Université est l'une des plus
animées et des plus élégantes de la ville.



Ce mardi 5 novembre 1878, la nuit enveloppe encore Berlin lorsque l'étudiant Heinrich Hertz s'éveille d'un sommeil fort agité. Dans la pénombre de sa chambre, il distingue les faibles lampes à gaz de la rue de l'Université, où il réside depuis un peu plus d'un mois.

Confusion et excitation se mêlent dans son esprit. Il a passé une partie de la nuit à peser le pour et le contre de la proposition du professeur Hermann von Helmholtz : désire-t-il entrer dans son laboratoire ?

Oui, c'est ce qu'il a toujours souhaité. Venir à Berlin suivre les cours de Helmholtz, et prendre part aux travaux pratiques de son laboratoire. N'a-t-il pas quitté Munich, où il a passé deux semestres à l'Université Ludwig Maximilien et à l'Université technique, dans ce but ? Arrivé à Berlin, il se souvient de l'émotion qui l'a submergé lorsque, le 23 octobre dernier, il s'est fait immatriculer à l'Université Friedrich-Wilhelm.

Oui, il est très fier de l'offre du Professeur dont il connaît le prestige. On dit que sa présence donne à la capitale de l'empire germanique son renom de centre international de la science et de la technique. Dans ce contexte, d'autres avant lui, des scientifiques comme l'Autrichien Ludwig Boltzmann et l'Américain Henry Augustus Rowland sont venus passer quelques mois dans le laboratoire de Helmholtz.

Mais ce matin, c'est aussi l'angoisse qui l'étreint. Sa tâche au laboratoire consistera à résoudre le problème posé par la faculté de philosophie de l'Université. Sujet dont l'instigateur n'est autre que Helmholtz et dont le prix récompensera le meilleur étudiant.

Est-il raisonnable de s'embarquer dans une course au prix qu'il n'est pas du tout sûr de remporter ? Il n'a que 21 ans, et, bien qu'étudiant brillant, personne n'est à l'abri d'un blâme cruel. Et puis, aura-t-il le temps de mener à

bien un tel travail de recherche dans les délais exigés, sachant qu'il va devoir effectuer une période militaire de quelques semaines au printemps prochain ? D'autant que le sujet proposé par Helmholtz est ardu. Ce projet de recherche s'inscrit dans le vaste théâtre de discord existant entre les différentes théories fondamentales de l'électrodynamisme.

D'un côté, les conceptions des Allemands Neumann, Weber et Fechner qui reprennent les idées anciennes basées sur les théories des potentiels. De l'autre, les représentations nouvelles des Britanniques, Faraday et Maxwell, qui introduisent la notion de champ.

Depuis 1870, Helmholtz et Weber sont en contentieux, notamment sur un point très particulier. La théorie électrodynamique de Weber introduit la notion de masse dans le courant. La théorie de Helmholtz est muette sur le sujet et, en principe, n'interdit donc pas l'existence d'une « inertie » du courant. Cependant, Helmholtz en a tiré une conséquence qu'il estime fort gênante pour l'ensemble de la théorie

de Weber : si le courant a une masse, affirme-t-il, le calcul montre que, dans un cas très spécial, des courants « infinis » doivent apparaître. En retour, Weber prétend que cette masse est si faible que de telles instabilités ne peuvent jamais se produire.

L'idée de Helmholtz consiste à assigner expérimentalement une valeur limite supérieure à cette masse. Il a donc imaginé de faire mesurer par un étudiant les faibles « extra-courants » qui se produisent lors de l'ouverture et de la fermeture d'un circuit.

Hertz soupire. C'est à lui qu'est revenue cette proposition. Et les résultats sont attendus le 4 mai prochain, déjà. Trêve de tergiversations et de ruminations, il faut agir. Il se sait consciencieux et zélé. Il va lui falloir maintenant travailler avec acharnement afin de ne pas décevoir les attentes de Helmholtz qui, il le sent, met des espoirs en lui. D'ailleurs, n'a-t-il pas déjà eu l'amabilité de lui parler du projet, de lui donner des indications sur les manuels adéquats à consulter ?

Le jour n'est pas encore levé. Hertz allume la lampe à pétrole. Il fait une toi-

Automne 1878. Pour la deuxième fois de son existence, Hertz se trouve à Berlin. Deux ans plus tôt, c'était par le hasard des affectations militaires. Aujourd'hui, malgré les incertitudes qui l'assaillent, toujours, il a choisi. Son avenir est là. Helmholtz aussi. Et la journée s'annonce fructueuse.

PAR CHRISTIANE HOLZHEY



Heinrich Hertz

lette minutieuse, coiffe sa barbe et s'habille avec soin. Pantalon et gilet gris sur chemise blanche à col raide. Il noue avec précaution sa cravate de soie, selon les bons usages de la bourgeoisie allemande de l'époque. Un bol de chicorée constitue un petit-déjeuner frugal.

Il enfille immédiatement sa redingote noire pour sortir. Ce matin, il n'est pas question de s'attarder à des exercices de calcul intégral ou à la lecture de Platon. Ses pensées l'ont suffisamment retardé.

D'un pas hâtif, il gagne la célèbre avenue *Sous les Tilleuls*, encore calme à cette heure-ci. L'Université Friedrich Wilhelm n'est pas loin. Il arrive à

l'amphithéâtre suffisamment en avance pour trouver une place assise. Il est tout de même curieux, pense-t-il, que ces professeurs choisissent de si petits lieux pour donner leurs cours ! C'est le seul moment que Hertz s'accorde pour s'entretenir avec ses camarades. Il n'a pas de temps à perdre en bavardage...

A 9 heures, entre le professeur Gustav Kirchhoff, physicien dont le renom accroît encore l'attraction exercée par la faculté de Berlin. Son cours porte sur la théorie de l'électricité et du magnétisme. Hertz sait ce qu'il va entendre ce matin. Les résultats et les méthodes habituelles de démonstration lui sont déjà familiers. Mais c'est

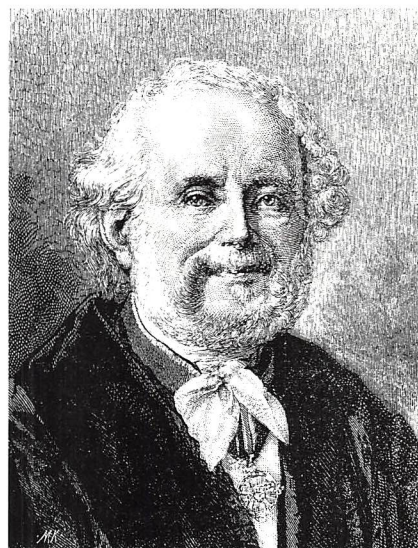


BOYER - VIOLET

Franz Ernst Neumann

un tel plaisir de venir écouter Kirchhoff.

Hertz s'étonne toujours de voir son voisin prendre en note, mot à mot, chaque parole du professeur. Quand il pense qu'il fait de même au cours du professeur Kummer sur la théorie des nombres, puis à celui du professeur Weierstrass sur la théorie des fonctions elliptiques dans les heures sui-



COILL VIOLET

Wilhelm Weber



J.L. CHARMET - BN

Gustav Robert Kirchhoff.

vantes. Et pourtant, « *il a l'air en bonne santé !* »

Il ressent quelque honte à ne suivre que deux cours. Celui de Kirchhoff et celui du docteur Borchardt sur la dynamique analytique qui, bien que difficile, promet d'être intéressant. La rumeur ne lui attribue-t-elle pas ce propos : « *Les mathématiques ont été appelées, plus par plaisanterie que par vérité, la science qui se comprend d'elle-même !* »

En revanche, il a délaissé les cours de Helmholtz sur la chaleur et l'acoustique. Tout comme ceux de physique théorique traitant du calcul intégral et différentiel. Il ira le semestre prochain.

Dès la fin du cours de Kirchhoff, il se fraye un chemin à travers le hall de l'université. Véritable parcours du combattant, à 10 heures, le hall est bondé « *comme devant un guichet de gare à Pentecôte !* »

Il descend la rue de l'Université jusqu'à la rivière Sprée, à la limite de la ville. Empruntant la voie sur berge, il atteint le quartier Dorothee, encore en construction. Le fatras de ferrailles et de décombres qui le jonche lui donne un aspect délabré. Hertz marche d'un bon pas. Le trajet ne lui demande qu'une vingtaine de minutes. Nul besoin d'avoir recours au tramway à cheval.

Devant lui, sur la rive du *Reichstag*, s'élève un bel immeuble de trois

étages, construit à la demande de Helmholtz. Ce dernier, dont la villa est contiguë au bâtiment, y a fait transférer son laboratoire. Celui de l'Université était devenu trop exigü.

Hertz est à l'heure au rendez-vous. Comme à son habitude, Helmholtz l'accueille chaleureusement. Pendant une vingtaine de minutes, les deux hommes discutent avec animation. Il s'agit de trouver la manière la plus adéquate d'aborder le travail. Ils passent aussi en revue les instruments nécessaires à la réalisation des expériences. Hertz se sent stimulé par son maître, chez qui il

relève, peut-être, quelques accents paternalistes.

Helmholtz lui présente son premier assistant, Eugen Goldstein. Jeune homme de 28 ans, très sympathique, il travaille au laboratoire depuis un an. Son domaine : la conductibilité électrique dans les gaz. Un autre assistant, Wilhelm Giese, est là depuis 1873, déjà ! Il assiste le professeur dans la préparation des cours et la surveillance des travaux pratiques. Hertz est rassuré. Un nombre restreint d'étudiants, pas plus de cinq, officient à cet étage. Le laboratoire ne sera pas trop bondé de têtes pensantes qui pourraient entraver la marche de ses recherches.

Le devenir de l'expérience

Peu après cette journée, Hertz commence à travailler sur son dispositif. Il constate que les vibrations subies par le galvanomètre sont trop importantes et décide de changer de pièce pour installer l'instrument sur un pilier de pierre.

Les difficultés sont essentiellement dues à la très faible valeur des « *extra-courants* » à mesurer. Comment augmenter l'effet – la variation de l'aiguille du galvanomètre – sans détruire le fragile équilibre du pont de Wheatstone ? Hertz modifie son dispositif initial (ce désir de changements expérimentaux se retrouvera comme une constante dans sa future carrière) : il conçoit un astucieux interrupteur qui, sans entrer ici dans les détails, permet d'augmenter le « *signal* » sans accroître le bruit de fond.

Peu à peu, ses mesures s'affinent. Ses parents lui font parvenir sa boussole des tangentes et son télescope. Hertz traque et évalue toutes les erreurs expérimentales, il pousse les appareils à leurs limites.

Si, du point de vue de Helmholtz, l'expérience est concluante, c'est-à-dire si le courant n'a pas de masse, elle ne peut toutefois que définir une limite supérieure à la valeur de cette

masse. En quelques mois, Hertz parvient à déterminer cette limite. « *J'ai terminé mon travail plus rapidement que je ne le pensais. C'est parce que même mes expériences les plus précises ont démontré un résultat parfaitement conséquent mais négatif, c'est-à-dire que dans les limites de ma précision, la présente théorie est totalement vérifiée. Bien sûr, j'aurais préféré produire quelque chose de positif, mais comme la nature n'a apparemment aucune disposition dans ce sens, je dois être satisfait de ce que j'ai. (...)* A mon avis, des expériences plus poussées mèneraient au même résultat », écrit-il le 31 janvier 1879.

Les physiciens qui avaient déjà émis des doutes sur la théorie de Weber admettent la limite fixée par Hertz : comme si elle représentait la valeur de la masse... En revanche, les autres contestent le caractère définitif que veulent lui donner Hertz et Helmholtz. Car *inférieur* n'a jamais signifié *égal* à !

Quoi qu'il en soit, l'inventivité expérimentale de Hertz et sa rigueur dans la mesure de précision sont désormais reconnues par la communauté scientifique allemande. Quant à Helmholtz, il sait qu'il a maintenant dans son camp une recrue de premier rang...



ILL. - VIOLLET

Hertz découvre avec bonheur la petite pièce qui lui est attribuée. Une salle de travail pour lui seul, « aussi grande que la pièce du petit-déjeuner » chez ses parents à Hambourg. « Tout est admirablement aménagé, je peux aller et venir comme il me plaît ; il y a des outils, le gaz, l'eau courante et, à portée de main, une table pour souffler le verre. » A côté, une seconde pièce spéciale lui est réservée. Il pourra y installer une batterie. En faisant passer le câble électrique à travers le mur, il évitera les vapeurs acides gênantes.

Hertz se reprend à douter. Saura-t-il être digne de ces lieux ? Qu'obtiendra-t-il ici ? « Comme je l'ai dit, je ne peux qu'espérer que les résultats me satisfassent, mais ce plaisir se transformera vite en routine pour finir par disparaître. »

Le département de physique de l'université de Berlin exerce une véritable attraction sur les étudiants qui sont nombreux à s'y inscrire.

Il détaille avec soin les appareils mis à sa disposition. En observant ces installations, il ne peut s'empêcher de les comparer à celles qu'il a lui-même organisées chez ses parents. Ici, au laboratoire, le galvanomètre est placé sur une console métallique fixée dans le mur. « Malheureusement, vous n'avez pas là un pilier en pierre de taille, » déplore Helmholtz. Hertz a conscience que l'instrument sera soumis aux vibrations. De lourdes charrettes passent fréquemment dans la rue Dorothee. Mais osera-t-il demander à changer de pièce, si ses mesures en sont

trop perturbées ? Chez ses parents, le problème ne se pose pas. Son galvanomètre est fixé sur le tour.

En revanche, la longue-vue prêtée là par le professeur, permettant de lire les graduations, peut être orientée dans toutes les directions au moyen de quelques vis. Chez ses parents, l'installation est des plus précaires. La longue-vue est simplement posée sur une pile de livres !

Il remarque qu'il n'y a pas de « boussole des tangentes » ici. Il sourit. Celle qu'il a fabriquée lui-même sur son tour a nécessité de longues heures de travail minutieux. Mais les résultats l'ont comblé. Le petit aimant mobile suspendu, constituant la partie principale, a démontré sa sensibilité. Qu'il soit suspendu dans l'eau ou enfermé dans

un récipient de verre et de bois... Il faudra qu'il demande à ses parents de la lui envoyer. Associée à la longue-vue, elle devrait lui offrir un gain de précision dans la mesure des courants électriques.

Hertz est si absorbé par son nouveau domaine qu'il en oublie d'aller déjeuner. Les journées sont décidément trop courtes. A 15 heures, ses collègues quittent le laboratoire. Enfin seul, il peut continuer plus librement à s'occuper de l'inventaire du matériel expérimental. De menus travaux l'attendent : sculpter du liège, limer des fils métalliques. Mais, très vite, il abandonne ces travaux pratiques pour songer à l'expérience qu'il doit mettre au point.

Théoriquement, le problème est simple à résoudre. Il lui suffit de reprendre l'équation de la loi de l'induction, basée sur la théorie électrodynamique de Helmholtz, et exprimant le bilan énergétique dans un circuit électrique. Elle démontre précisément la contribution supplémentaire de la masse du courant sous forme d'énergie cinétique.

Expérimentalement, la tâche s'avère plus délicate. Il s'agit de détecter, minutieusement, les très petites variations du courant résultant de cette masse, si elle existe. Cette détection se fera au moyen des oscillations d'un galvanomètre balistique – un Meyerstein – capable de mesurer les quantités d'électricité lors des temps, très courts, de l'ouverture et de la fermeture du circuit. Comment faire ?... Oui, c'est cela. Il va utiliser la paire de bobines à enroulement à deux brins qui se trouve au laboratoire. Puis, il les intégrera dans un pont de Wheatstone. Ensuite, il faudra ajuster les résistances des différentes branches du circuit de sorte que le galvanomètre,

reliant les deux branches parallèles, ne montre aucune déviation en régime stationnaire.

Une difficulté subsiste : connaître avec précision les valeurs des résistances et des inductances du circuit. Hertz décide, d'une part, de toujours considérer des couples d'expériences réalisées avec des résistances rigoureusement identiques. D'autre part, il branchera les deux fils des deux bobines de façon à obtenir, soit une inductance très petite, soit une inductance très grande ⁽¹⁾. Cela permettra, par la suite, d'éliminer certains paramètres dans le calcul de la masse qui sera obtenue par une équation simple et précise. L'erreur expérimentale aura été limitée, autant que possible.

Hertz a du mal à contenir son excitation. Pour son premier travail de laboratoire, Helmholtz ne l'a pas ménagé ! La tâche est si difficile que Helmholtz lui-même ne semble pas y croire... De longues heures d'expérimentation, de mesure, de remaniement de son dispositif expérimental l'attendent. Il continuera demain.

Vers 16 heures, il quitte le laboratoire et s'enferme dans la salle de lecture qu'il a découverte, avec joie, il y a quelques jours. Ouverte toute la journée, il peut y consulter les dernières revues scientifiques, et lire sans être dérangé. Située dans le même immeuble que le laboratoire, elle est plus adaptée à ses besoins que la bibliothèque royale de l'Université, établie dans un bâtiment baroque, communément appelé *La Commode*, en face du théâtre. A propos de théâtre, une troupe française présente un spectacle qu'il lui faudra aller voir à l'occasion, pour le sortir un peu, et faire plaisir à sa mère !

Vers 18 heures, fatigué par cette journée riche en émotions, il regagne son domicile, encore chichement installé. Le mobilier est réduit au strict minimum. Mais ce sont surtout ses livres qui lui manquent. *L'Optique* de Newton, acquis pour 10 DM à Noël, trois

volumes reliés de cuir dont il est très fier. Et les œuvres de Kant qu'il affectionne tout particulièrement. Son repas, bien que peu consistant, lui redonne quelques forces. La perspective d'une soirée dans cet appartement vide ne l'enchanté guère. L'animation qui lui parvient de l'avenue *Sous les Tilleuls* le pousse à ressortir.

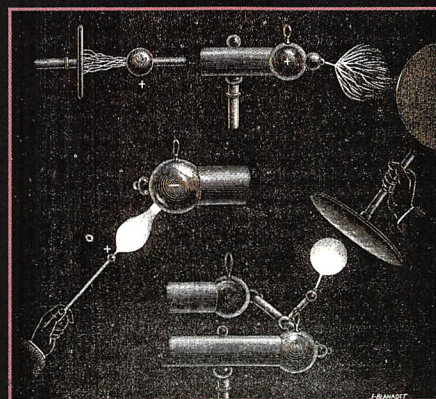
On dit de cette avenue qu'elle est le centre de l'élégance berlinoise. Maisons magnifiques, palais et hôtels se dressent de part et d'autre. Au milieu de la chaussée, Hertz emprunte l'espace promenade bordé de grands arbres. Certaines voies sont réservées aux cavaliers, aux voitures à cheval ou à vapeur. Quelques bicyclettes venues de Paris suscitent bien des curiosités. Sur les trottoirs, se promènent des Berlinoises distingués, officiers à l'uniforme rutilant et dames parées. A cette époque, Berlin, centre intellectuel et mondain, compte un million d'habitants.

Tout à coup, au milieu de la foule, Hertz aperçoit Genzmer : ils ont fait leur service militaire ensemble, deux ans auparavant, ici même ! Les retrouvailles sont chaleureuses et les deux hommes s'empressent de trouver une taverne pour les célébrer dignement. Les souvenirs sont intacts. Que de chicaneries pour des bagatelles ! Quelques minutes de retard ou un bouton manquant... et le monde semblait s'écrouler ! Tout cela n'était-il pas qu'une vaste mesquinerie ? Quelques heures plus tard, les deux hommes se séparent en se promettant de se revoir. C'est toujours ce que l'on dit dans ces situations, songe Hertz sur le chemin du retour.

La journée a été longue. Hertz tourne en rond, sans savoir s'il est fatigué, énervé, inquiet ou... tout simplement, heureux. Ecrit-il à ses parents ce soir ? Son esprit est trop confus pour relater clairement tout ce qu'il ressent : Berlin, Helmholtz, le laboratoire, son travail, ses collègues. Il saisit une feuille de papier. Non,... demain. ■

¹ – Pour en savoir plus sur les détails de l'expérience : Jed Z. Buchwald, *The creation of Scientific Effects*, chapitre 5, The University of Chicago Press, 1994.

L'INVENTAIRE DES COMPOSANTES



Les étincelles artificielles, en apparence si proches de la foudre, induisent de spectaculaires effets. **Au XVIII^e siècle**, les démonstrateurs de salons n'ont pas manqué d'en tirer profit. **Au XIX^e siècle**, dans les laboratoires, certains expérimentateurs attentifs observent des phénomènes plus subtils. **A partir des années 1850**, apparaît la bobine d'induction, un instrument développé à partir de besoins médicaux. **Elle engendre la production de phénomènes nouveaux et inexpliqués** : les étincelles exercent parfois une action à distance !

1

DE LA MÉDECINE À LA PHYSIQUE BOBINE D'INDUCTION

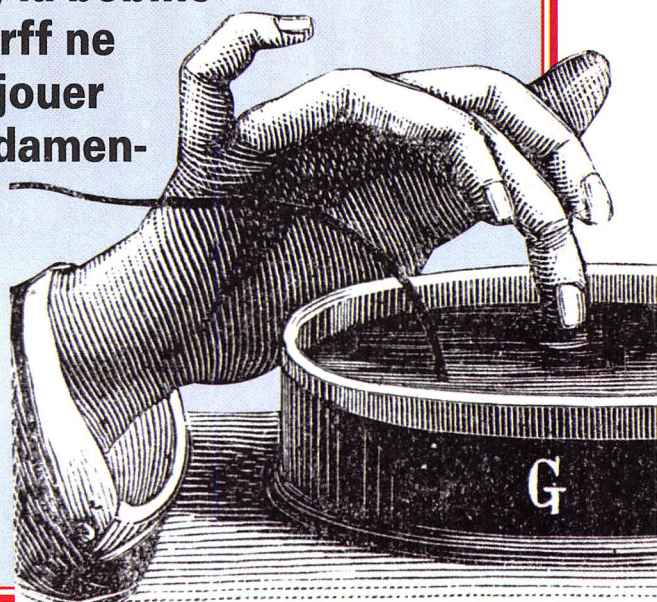
A l'époque où Hertz commence ses études supérieures, tout laboratoire de physique qui se respecte possède au moins un exemplaire d'une *bobine de Ruhmkorff*. La fonction principale de cet instrument consiste à produire, à partir d'une source de courant continu, des étincelles entre deux pointes métalliques. En dehors du laboratoire, voilà fort longtemps qu'on a su tirer profit de cette possibilité de production d'étincelles à distance. Dès 1860, par exemple, le corps expéditionnaire français en Chine a utilisé une telle bobine pour faire sauter le fort de Peï-Ho... A la fin des années 1870, certains fabricants engagent une course au gigantisme. En 1877, à Londres, A. Apps a ainsi présenté aux curieux sa dernière réalisation : une bobine susceptible de faire jaillir des étincelles de 42 pouces (1,06 m) de longueur !

Si l'instrument fait alors partie du domaine public, l'histoire de son invention et de sa mise au point est délicate à démêler. Les revendications en paternité ont été nombreuses... Selon l'historien Willem Hackmann ⁽¹⁾, l'histoire de cet instrument, qu'on préférera appeler **bobine d'induction**, débute aux Etats-Unis en 1832.

Joseph Henry, alors professeur à l'Académie d'Albany, dispose en série plusieurs piles électriques, aux bornes desquelles il attache deux fils de plusieurs mètres de longueur. Pour fermer le circuit, les extrémités de ces fils sont plongées dans un godet contenant du mercure. En retirant l'un des fils du godet,

Dans les années 1840, un nouvel outil thérapeutique investit les cabinets médicaux : la bobine d'induction. Elle permet d'administrer à volonté des « chocs électriques » à certaines catégories de patients. Au début des années 1850, la physique s'empare de l'instrument. Celui-ci prend alors, un peu abusivement, le nom d'un inventeur parisien d'origine allemande. Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, la bobine de Ruhmkorff ne cessera de jouer un rôle fondamental dans les laboratoires de physique.

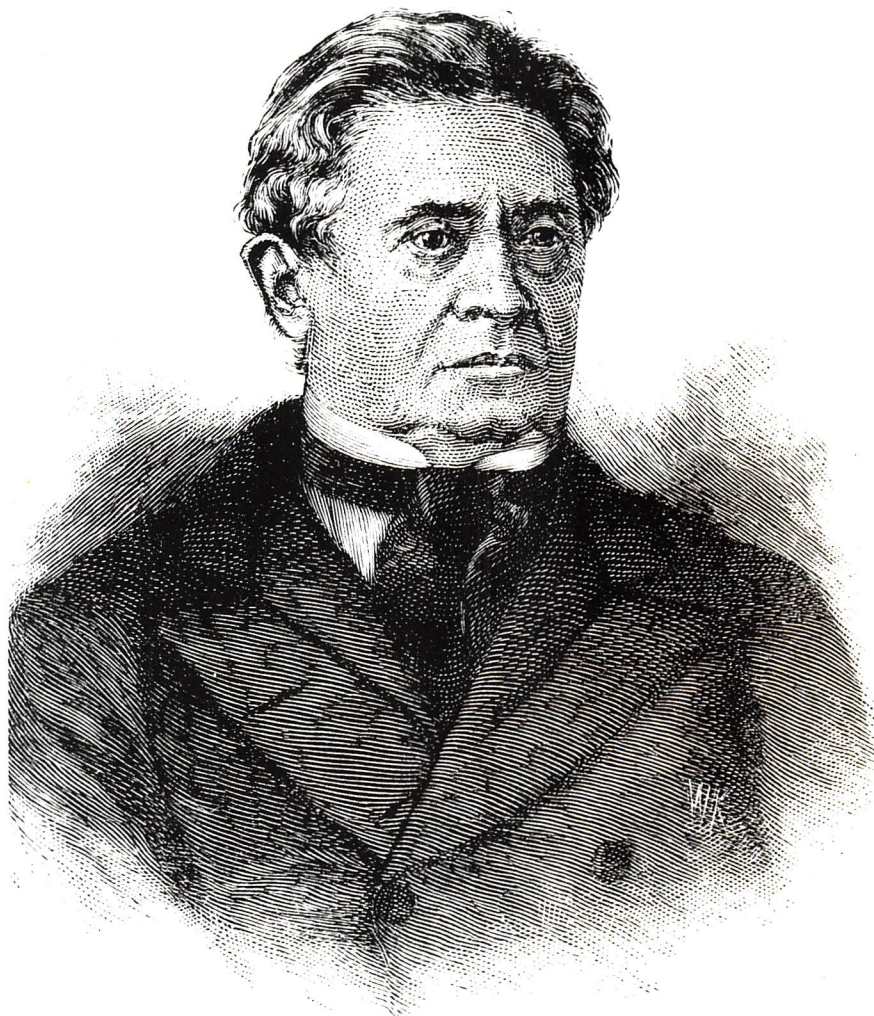
**PAR GÉRARD
CHEVALIER**



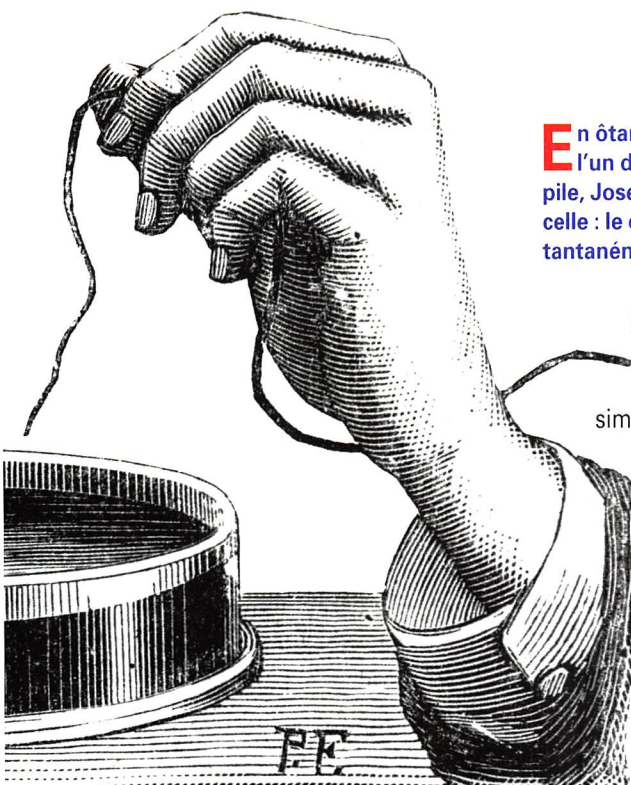
1 - W.D. Hackmann, *The Induction Coil in Medicine and Physics*, in *Etudes sur l'histoire des instruments scientifiques*, R. Turner Books, Londres, 1989 (source principale des informations contenues dans cet article)

IE : LA CTION

Henry observe qu'une étincelle éclate entre le mercure et le fil. Tout se passe donc comme si, après la rupture du circuit, le courant ne s'interrompait pas instantanément. Comme s'il faisait preuve d'*inertie*... Henry qualifie ce phénomène d'*extra-courant de rupture*. Henry note par ailleurs que l'étincelle est d'autant plus vive que les fils sont plus longs. Il expérimente également en enroulant ses fils conducteurs, isolés avec de la soie, en forme de spirales plates. Cette fois-ci, les étincelles sont plus vives lorsque, à longueur égale, les fils présentent un plus grand nombre de spires voisines. Enfin, l'introduction d'un noyau de fer doux suivant l'axe des spires augmente encore



MARY EVANS PICTURE - EXPLORER



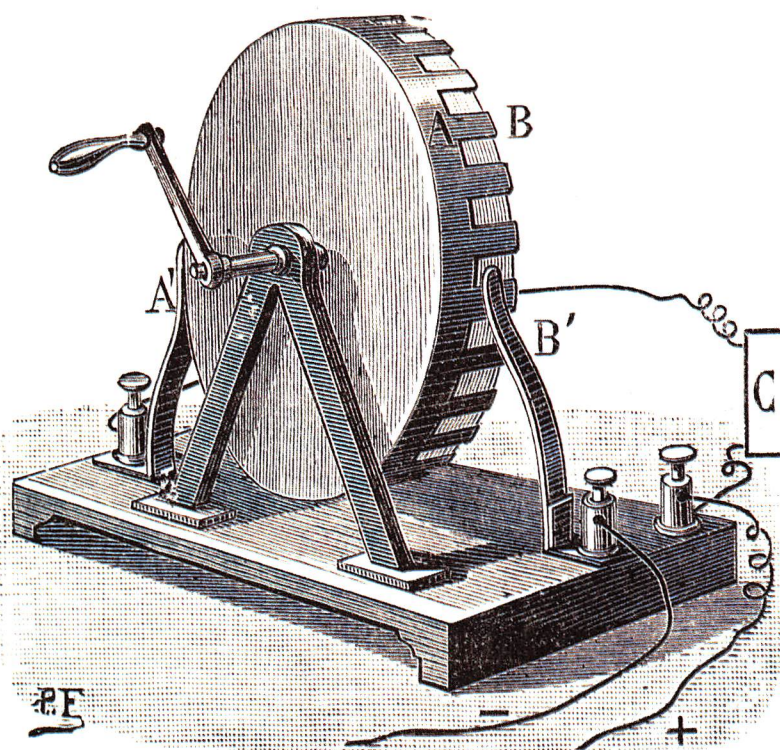
En ôtant d'un godet rempli de mercure l'un des fils reliés aux bornes d'une pile, Joseph Henry voit jaillir une étincelle : le courant ne cesserait-il pas instantanément avec la rupture du circuit ?

l'intensité de l'étincelle...

De fait, Faraday avait identifié un phénomène similaire un an plus tôt. Mais cela se passait à Londres et Henry l'ignorait. Qu'avait fait le physicien anglais ? Il avait pris un anneau de fer doux et, sur une partie de cet anneau, avait enroulé un fil conducteur. Ses deux extrémités étaient reliées, via un interrupteur, à une pile électrique. Sur l'autre partie de l'anneau, Faraday avait enroulé un fil identique pour constituer

un deuxième circuit, non relié au premier et simplement fermé sur un galvanomètre. Faraday avait constaté qu'en actionnant l'interrupteur pour mettre le premier circuit sous tension, l'aiguille du galvanomètre enregistrait la production d'un courant dans le second circuit. Dès que le courant était établi dans le *primaire*, il n'y avait néanmoins plus aucune production de courant dans le *secondaire*. En revanche, lors de la rupture du circuit primaire, l'aiguille du galvanomètre se remettait en mouvement, s'inclinant dans le sens inverse de sa déviation initiale.

En résumé, Faraday a montré qu'une **variation de courant** dans un circuit primaire **induit un courant** dans un circuit secondaire. A Albany, Henry a de son côté montré qu'une variation de courant dans un unique circuit produit un **extra-courant**. On finira par reconnaître que



Les premiers modèles d'interrupteur sont mécaniques : une manivelle met en rotation une roue à encoches et une lame flexible assure le contact.

nage **primaire**, le bobinage **secondaire** et l'**interrupteur**.

Au courant de l'été 1837, Callan envoie un prototype de son instrument à Sturgeon. A cette époque, celui-ci exerce ses talents dans un haut-lieu londonien de diffusion de la science : la galerie Adelaide. Quelques années plus tôt, Faraday et Wheatstone, par exemple, y avaient donné des conférences spectaculaires. Le public vient y admirer les dernières horloges électriques, les instruments de télégraphie les plus récents, etc. Sturgeon expose l'instrument de son ami irlandais et, par ailleurs, s'attache à l'améliorer. Il porte d'abord son attention sur le noyau de fer doux. Il met en évidence le comportement différent d'un barreau solide et d'un faisceau de fils : les étincelles produites avec la seconde configuration sont nettement plus intenses. Peu avant, ce phénomène avait d'ailleurs été identifié par l'un des amis de Sturgeon, George Bachhoffner, fondateur de l'Institut polytechnique londonien, auquel Sturgeon avait prêté l'un de ses prototypes.

Sturgeon essaie aussi divers types d'interrupteurs. L'un d'entre eux est constitué d'un disque de zinc à encoches, sur lequel vient s'appuyer une lame flexible. Lorsque le disque est mis en rotation manuellement, le courant peut être interrompu jusqu'à 540 fois par seconde. Ce dispositif trouve son origine dans les instruments de thérapie électrique. Depuis l'invention de la pile de Volta, les médecins avaient en effet imaginé plusieurs moyens de « découper » le courant continu, délivré par la pile, avant de l'administrer à leurs patients. Outre la roue à encoches, on avait par exemple inventé la roue en forme d'étoile : les pointes de chaque branche plongent dans une coupelle de mercure pour assurer le contact. En cette même année 1837, à Paris, Masson met au point un interrupteur similaire à la roue de Sturgeon : « La roue est mise en mouvement par une manivelle : elle se compose de disques de verre, calés sur un axe et munis à leur périphérie de bandes de cuivre découpées en forme de dents. Des frotteurs

ces deux phénomènes sont d'une même nature et on les appellera du même nom : l'induction. Dans le premier cas, on parlera d'induction mutuelle (d'un circuit sur l'autre), dans le second d'auto-induction (d'un circuit sur lui-même).

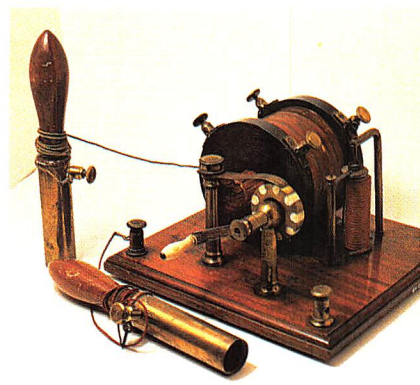
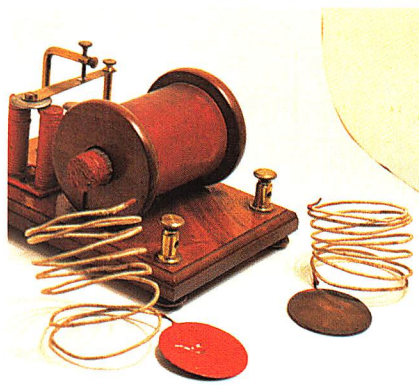
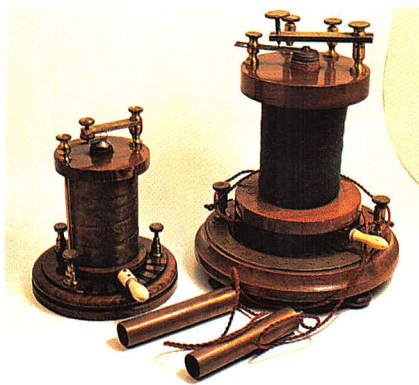
Peu après ses découvertes, Henry quitte Albany pour l'université de Princeton. Ses travaux sont repris par un médecin et concepteur d'instruments scientifiques de Salem (Massachusetts) : Charles Grafton Page. A cette époque, la médecine est friande de nouvelles sources d'électricité. Depuis le milieu du XVIII^e siècle, elle tente, avec plus ou moins de bonheur, d'administrer des *chocs électriques* à certaines catégories de patients. En 1835, Page invente à cette fin le premier *autotransformateur* : différentes parties d'**une même bobine** agissent en tant que circuit primaire et secondaire (là où l'on ressent les *chocs*...).

Un certain Mr Peabody, compatriote de Page et Henry, prend le bateau pour l'Angleterre. Il y rencontre William Sturgeon, un célèbre conférencier scientifique autodidacte, et lui fait part des travaux américains. Sturgeon reproduit les expériences de Henry à l'aide de quelques bobinages à sa disposition. Tentant de les interpréter, il est incité à étudier les travaux que Faraday avait publiés sur

l'induction : ils avaient jusqu'alors échappé à son attention.

Sturgeon mentionne ses expériences à l'un de ses amis, le père Nicholas Joseph Callan. Enseignant de physique dans le collège irlandais de Maynooth, Callan travaille depuis 1834 sur des électroaimants. Autour d'un aimant en forme de fer à cheval, Callan enroule l'un sur l'autre deux fils isolés, de diamètres notablement différents mais connectés en série. Le dispositif ressemble fort à l'autotransformateur de Page. A une exception : les fils ne sont pas de même grosseur. Pour *répéter* – automatiquement et fréquemment – la rupture du circuit, Callan utilise un fil de métal actionné par un mouvement d'horlogerie. Ce fil plonge et sort d'une coupelle emplie de mercure environ 3000 à 4000 fois par minute.

En 1837, Callan accomplit un geste décisif : il déconnecte les deux bobinages enroulés sur son aimant. Désormais, le *primaire* et le *secondaire* ne sont plus reliés par un conducteur et les *chocs électriques* sont délivrés à partir des seules bornes du secondaire. Les ingrédients essentiels de la future bobine d'induction sont maintenant clairement identifiés : le **noyau** de fer doux, le bobi-



HACKMANN - MUSEUM OF HIST. OF SCIENCE - OXFORD

appuient, les uns sur la partie pleine des bandes de cuivre, les autres sur les dents.»

Au début des années 1840, le marché des bobines commence à prendre son essor. La demande est essentiellement d'origine médicale. Prenons l'exemple du « fabricant d'instruments magnétiques » londonien, E. M. Clarke. Sa boutique est située juste en face de la galerie Adelaïde et son catalogue fait la promotion d'une « machine électromagnétique » : « Les chocs obtenus du courant secondaire sont les plus puissants jamais produits », affirme-t-il. Mentionnons en passant que la couverture du catalogue de Clarke fait état de sa « coopération avec Charles Chevalier, ingénieur opticien, breveté par le Roi, etc. » A cette époque, l'un des employés de Chevalier est un dénommé Heinrich Daniel Ruhmkorff, un mécanicien de précision d'origine allemande, fixé à Paris depuis 1826...

Les bobines médicales commercialisées sont souvent équipées de deux types d'interrupteurs : un interrupteur manuel (type roue à encoches) et un interrupteur électromagnétique. Le premier permet de délivrer des chocs relativement puissants, le second est destiné aux chocs plus faibles. De fait, le développement de l'interrupteur électromagnétique a débuté vers 1837. Aux Etats-Unis, Page en propose diverses réalisations. L'une d'entre elles fait notamment appel à un balancier, aux deux extrémités duquel sont fixés deux petits bobinages, enroulés en sens inverse l'un de l'autre. L'ensemble est inséré à l'intérieur d'un aimant perma-

Dans les années 1840, le marché des bobines est quasi exclusivement médical. Ces divers instruments d'origine anglaise montrent la variété des dispositifs utilisés.

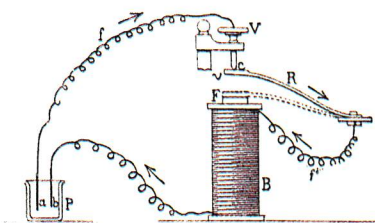
nent en forme de fer à cheval. Le dispositif permet d'atteindre 300 interruptions par minute.

Page rencontre davantage de succès avec une autre innovation, le précurseur du marteau électrique des sonnettes. Une lame de ressort, terminée par un contact de platine, est d'abord déplacée par l'action d'un électroaimant. Le circuit est donc interrompu, puis l'élasticité du ressort vient rétablir le contact, etc. Le dispositif de Page se compose d'un marteau en fer, attiré par le noyau de la bobine devenu « aimant » sous l'action du courant traversant le bobinage primaire. Le marteau fait sortir un fil d'une coupelle à mercure, interrompant ainsi le courant dans le primaire. Mais, puisque cela est l'exacte reproduction de l'expérience initiale de Henry, il y a en même temps

jaillissement d'une étincelle au moment où ce fil quitte le mercure. L'effet d'auto-induction est, cette fois-ci, devenu une gêne : pour éliminer la production de cette étincelle, Page recouvre le mercure d'une couche d'huile ou d'alcool.

A Francfort (Allemagne), Christian Ernst Neeff décrit peu après un système d'interrupteur à marteau très proche de celui de Page. On note toutefois une modification

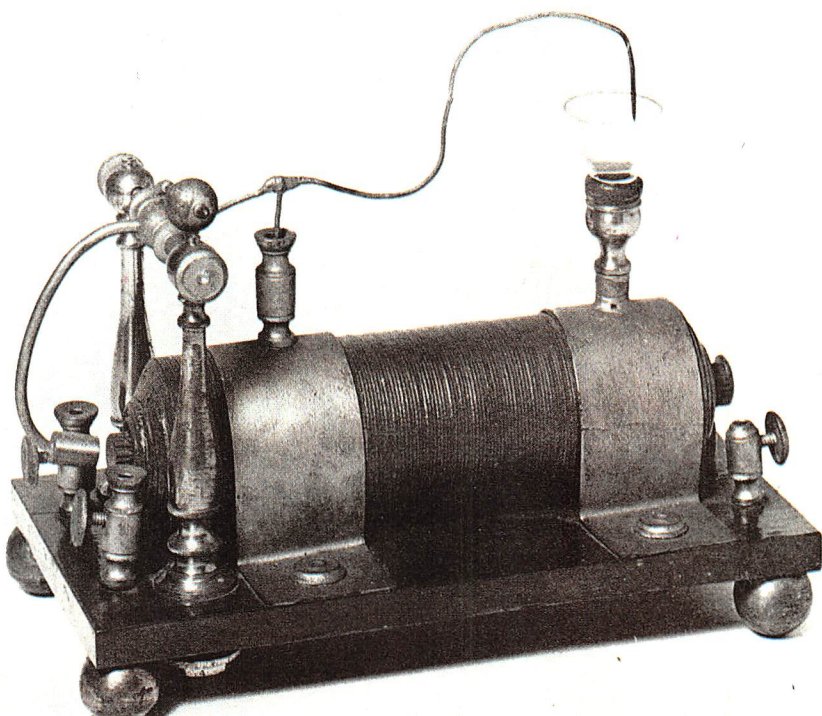
Dans l'interrupteur électromagnétique, la lame R, déplacée sous l'action du noyau de la bobine, rompt le circuit. Le noyau ne jouant plus le rôle d'aimant, le contact est rétabli grâce à l'élasticité du ressort. Etc., etc.



L. DE SELVA - TABACOR

Cette bobine date de 1838. Trente ans plus tard, son auteur, Page, écrira un ouvrage polémique pour revendiquer la paternité d'un instrument qu'on avait pris l'habitude d'attribuer à Ruhmkorff.

HACKMANN - MUSEUM OF HIST. OF SCIENCE, OXFORD



DE LA MÉDECINE À LA PHYSIQUE : LA BOBINE D'INDUCTION

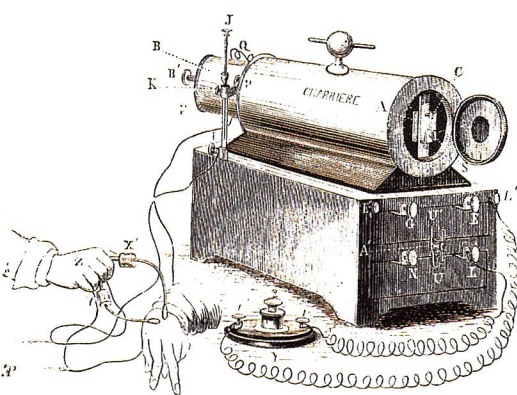
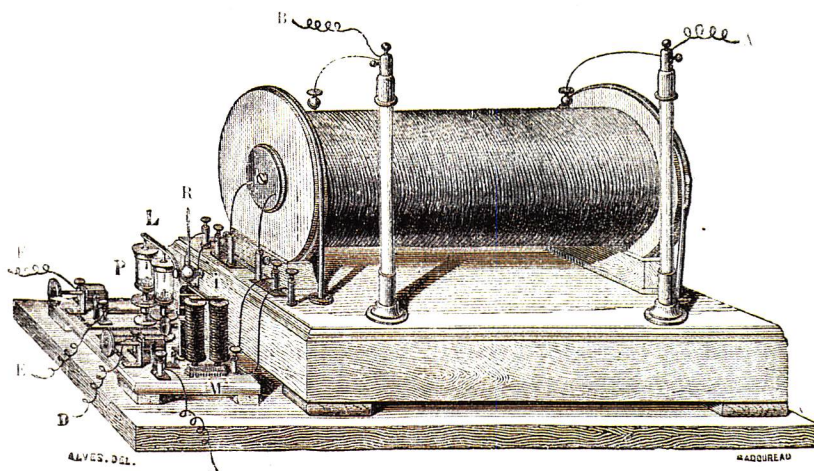


Fig. 2 bis. — Appareil volta-faradique à double courant du docteur Duchenne (de Boulogne).

J.L. CHARMET - BIBL. INTERUNIV. DE MÉDECINE

En médecine, l'un des plus célèbres concepteurs et utilisateurs de bobines, Duchenne de Boulogne, se livre à ses expériences sur les expressions faciales.



L. DE SELVA - TAPABOR

La version achevée de la "vraie" bobine de Ruhmkorff comporte deux innovations dues à des physiciens : un condensateur (idée de Fizeau) et un interrupteur à mercure (mis au point par Foucault).

significative : les coupelles de mercure, alors d'utilisation courante, sont remplacées par des contacts de platine et des vis de fixation.

La bobine d'induction atteint ainsi un degré de maturité raisonnable et se diffuse dans les cercles médicaux. Pendant une dizaine d'années, elle est surtout un outil thérapeutique et peu d'innovations techniques lui sont apportées. En 1848, le médecin français Guillaume Duchenne de Boulogne s'empare de l'instrument et commence ses recherches sur l'électrophysiologie des expressions faciales ⁽²⁾. Au cours des années suivantes, il développe diverses versions de la bobine pour l'adapter à ses besoins. De fait, après Londres, la capitale française devient le principal foyer d'innovations. Nous y retrouvons Ruhmkorff... Avec lui, la bobine d'induction n'est plus confinée au domaine médical. Elle entre dans celui de la physique.

Entre 1851 et 1856, Ruhmkorff entreprend d'accroître considérablement la taille des étincelles produites aux bornes du secondaire. Les caractéristiques de la

² - Voir *Science et Vie Hors Série* n° 168 (sept 1989), p. 12.



J.L. CHARMET - BIBL. INTERUNIV. DE MÉDECINE

2 DES ÉTINCELLES ET DES HOMMES

bobine s'en trouvent nécessairement modifiées. En réduisant le diamètre des fils du secondaire, Ruhmkorff parvient ainsi à obtenir des enroulements d'une longueur avoisinant la dizaine de kilomètres. Il est alors amené à augmenter l'isolation du bobinage secondaire : il gaine les fils avec de la gomme-laque et sépare chaque couche avec de la soie vernie. Il isole par ailleurs le primaire du secondaire en enroulant ce dernier sur un cylindre de verre. Il ajoute également un « inverseur de courant » pour changer la direction du courant dans le circuit primaire. En 1853, un physicien de renom, Hippolyte Fizeau, lui suggère d'insérer un condensateur de grande capacité dans le circuit primaire. De cette façon, l'étincelle nuisible, qui allonge le temps d'induction et endommage les contacts, est considérablement diminuée : l'extra-courant de rupture sert désormais à charger le condensateur.

Lors de l'Exposition de Paris de 1855, Ruhmkorff se voit attribuer un prix pour son apport aux sciences de l'électricité. Pendant cinq ans de suite, il recevra le prix Trémont de l'Académie des sciences, d'un montant de 5 500 Francs ⁽³⁾. En 1856, le « frère ennemi » de Fizeau ⁽⁴⁾, Léon Foucault, développe un interrupteur électromagnétique à mercure, qui permet de le rendre indépendant du noyau de la bobine. Ruhmkorff s'empresse d'intégrer ce dispositif dans ses fabrications. En 1858, on lui décerne le grand prix Volta pour les applications de l'électricité : d'un montant de 50 000 Francs, il n'avait encore jamais été décerné.

Cette pluie de récompenses contribua certainement à ce que les physiciens donnent ensuite son nom à la bobine d'induction. Ce faisant, cette appellation occultera l'apport des précédents inventeurs et l'impulsion venue d'un domaine extérieur à la physique : la médecine. ■

3 – Voir Jacques Payen, *Les constructeurs d'instruments scientifiques en France au XIX^e siècle*, Archives internationales d'histoire des sciences, juin 1986, vol. 36.

4 – Voir *Les Cahiers de Science et Vie* n° 25 consacré à la mesure de la vitesse de la lumière par Foucault et Fizeau.

Entre 1780 et 1882, de nombreux expérimentateurs rapportent des observations étranges sur les effets à distance des étincelles. Les explications théoriques faisant défaut, ces expériences ne rencontrent qu'une indifférence polie...

PAR WALTER KAISER

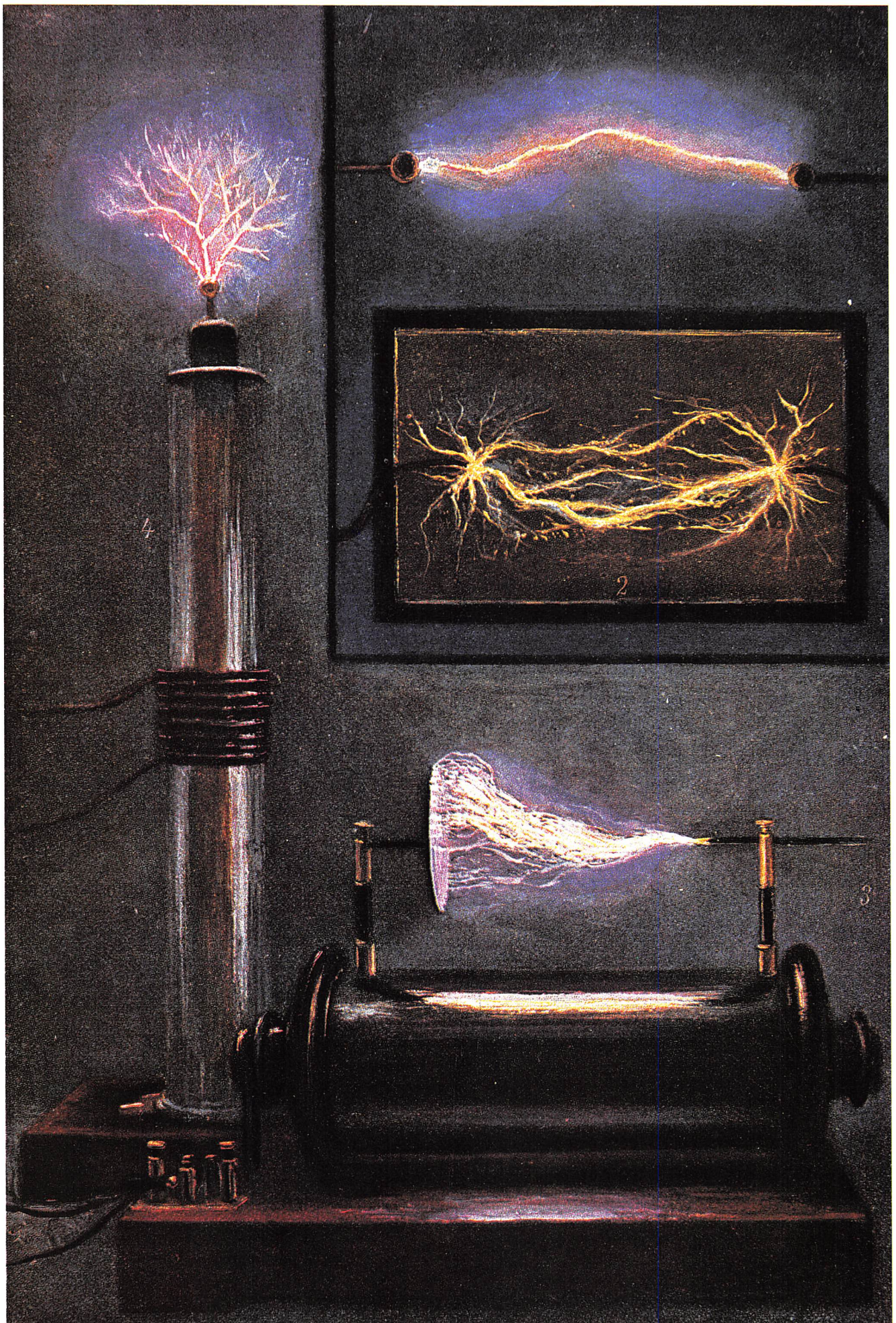
Depuis l'invention des machines électrostatiques, puis des bouteilles de Leyde, la production d'étincelles fait spectacle. Dans les salons, elle fascine les curieux. Dans les laboratoires, elle induit des effets intrigants et inattendus.

Au cours des années 1780, Luigi Galvani met par exemple en évidence deux faits expérimentaux inexplicables. En appliquant un couteau de dissection sur le nerf d'une cuisse de grenouille, il s'aperçoit tout d'abord qu'une étincelle, produite par un générateur électrostatique, déclenche à distance un tressaillement dans le muscle. Plus tard, il délaisse un instant ses animaux pour travailler sur des bouteilles de Leyde. Il rapporte cette

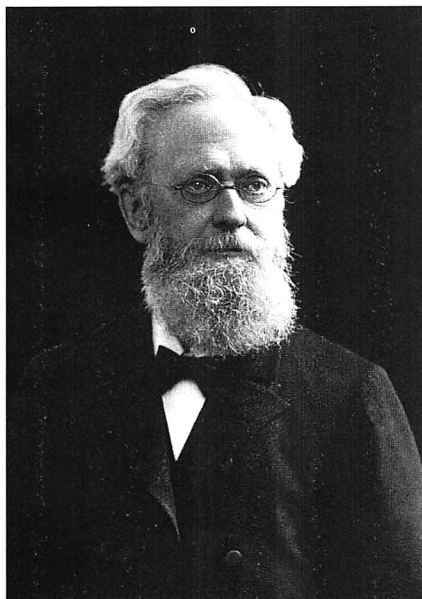


PHOTOS ANDERSON-VIOLET

Luigi Galvani

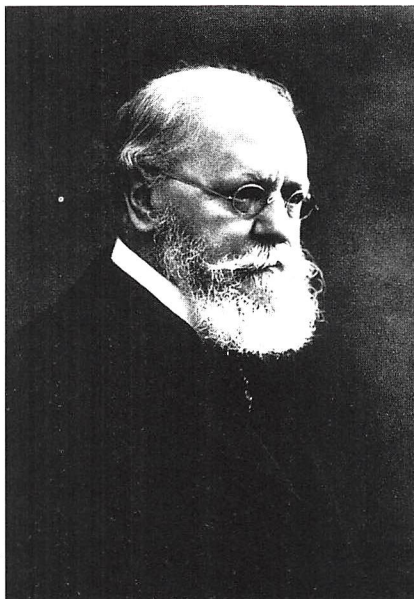


DES ÉTINCELLES ET DES HOMMES



DEUTSCHES MUSEUM MÜNCHEN

Wilhelm Feddersen
(1832 – 1918)



Wilhelm von Bezold
(1837 – 1907)

observation « *accidentelle* » : lorsqu'un « *trait de lumière* », produit dans la bouteille par une décharge, s'est éteint, il est réactivé par l'éclatement d'une étincelle dans le voisinage immédiat de sa bouteille. L'expérience est tout à fait reproductible, mais Galvani, médecin de formation, n'en tire aucune conclusion significative...

Franchissons quelques décennies. Nous sommes à l'Ecole polytechnique parisienne en 1827. Félix Savary étudie l'aimantation d'aiguilles d'acier produites par la décharge d'un condensateur. Dans cette aimantation, il observe des « *couches alternées* » et en conclut que « *le mouvement de l'électricité pendant cette décharge consiste en une série d'oscillations.* » Quinze ans plus tard, aux Etats-Unis, Joseph Henry (voir article précédent) réalise une expérience étonnante : grâce à l'action à *distance* d'une étincelle de 2,5 cm de longueur, il parvient à aimanter une aiguille d'acier pla-

cée à 10 m de son dispositif. Cette observation le conduit à formuler une hypothèse – vingt ans avant Maxwell ! – : la lumière serait un phénomène de nature électromagnétique...

Parcourons le temps et les continents à grandes enjambées. En Allemagne, Helmholtz formule en 1847 la loi de « *conservation de la force* ». Dans le court traité portant ce titre, il s'intéresse aussi au phénomène de décharge des bouteilles de Leyde. Il suppose qu'il s'agit d'un processus périodique rapide et, s'appuyant sur des considérations énergétiques, émet une hypothèse : la diminution de l'intensité des oscillations proviendrait de la transformation de l'énergie cinétique du courant électrique en chaleur. Helmholtz s'abstient toutefois de donner une forme mathématique à ses réflexions.

En fait, la théorie des oscillations électriques débute véritablement avec William Thomson. Nous sommes maintenant en 1853. Récemment convaincu par Joule de l'universalité du principe de conservation de l'énergie ⁽¹⁾, Thomson s'appuie sur ce principe pour exprimer la période des décharges oscillatoires d'un circuit comprenant une bouteille de

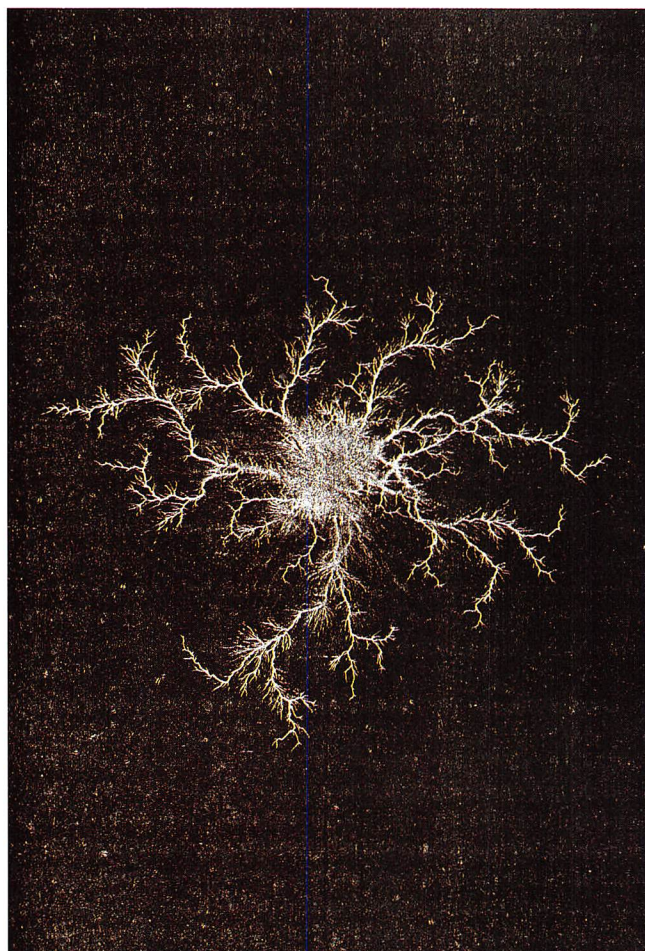
Leyde. Outre la résistance, les caractéristiques d'un tel circuit sont sa capacité (C) et son coefficient d'auto-induction (L). La première correspond à la capacité d'accumulation des charges électriques par la bouteille ; la seconde caractérise « *l'inertie* » que le circuit oppose à toute variation de courant. Toutes deux sont essentiellement fonction de la nature des matériaux utilisés (isolants et conducteurs) et de la géométrie de l'ensemble. Thomson montre alors que, si la résistance du circuit est inférieure à $2\sqrt{L/C}$, le circuit oscille avec une période T, telle que : $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Cinq ans plus tard, à Leipzig, Wilhelm Feddersen adopte une démarche exclusivement expérimentale. Comme l'indique le titre de l'un de ses premiers articles, il tente surtout d'apporter sa « *contribution à la connaissance de l'étincelle électrique.* » Il produit des étincelles avec une simple bouteille de Leyde et, pour retarder la décharge, insère dans le circuit des résistances constituées, par exemple, de colonnes d'acide sulfurique dilué. Pour observer l'étincelle, il fait appel à une invention de Wheatstone ⁽²⁾, le miroir tournant. Feddersen projette l'image de l'étincelle, réfléchie par un miroir concave animé d'une vitesse de rotation d'une centaine de tours par seconde, sur une plaque photographique. Il observe d'abord une bande lumineuse homogène. Puis, il diminue la valeur de sa résistance. En dessous d'une certaine limite, Feddersen voit apparaître sur sa plaque photographique une série de bandes équidistantes. Indépendamment du travail théorique de Thomson, il a ainsi réussi à démontrer que, dans ces conditions, le phénomène est effectivement périodique. Mais, après avoir pris connaissance et admis la formule de Thomson, Feddersen accomplit davantage encore. Il mesure la période d'oscillation de son étincelle en faisant déchar-

Selon les dispositifs qui les produisent, les décharges électriques donnent naissance à des étincelles de formes très variées.

¹ – Voir *Les Cahiers de Science et Vie* n° 29, consacrés à James Joule.

² – Voir *Les Cahiers de Science et Vie* n° 25, p. 33.



PHOTOS L. DE SELVA - TAPABOR

ger un nombre croissant de bouteilles de Leyde identiques. La période varie en fonction de la racine carrée du nombre de bouteilles ! C'est-à-dire de la racine carrée de la capacité... L'accord expérimental avec la théorie du physicien britannique est excellent. Enfin, Feddersen branche dans son circuit des bobines qui offrent des coefficients d'auto-induction différents. Ce faisant, il réalise les premiers circuits oscillants à haute fréquence ⁽³⁾.

En 1870, le physicien munichois Wilhelm von Bezold remplace la bouteille de Leyde par une bobine de Ruhmkorff (voir article précédent). Les décharges se produisent dans un *éclateur* (deux boules de métal séparées par un petit intervalle) situé à l'extrémité d'un fil conducteur. Von Bezold place l'éclateur au-dessus d'une plaque de verre parsemée de poudre adéquate. Il obtient ainsi des *figures de Lichtenberg*, du nom de ce

Les étincelles qui surgissent d'une bobine à partir d'un pôle négatif (à gauche) ou d'un pôle positif (à droite) n'offrent pas du tout les mêmes formes géométriques.

physicien qui, au XVIII^e siècle, a réussi par ce procédé à visualiser les effets de l'électricité négative et positive (figure ci-dessus). Von Bezold montre alors que les décharges, de toute évidence oscillatoires, produisent des images correspondant à la superposition des deux types de figures de Lichtenberg. En outre, il essaie d'expliquer la périodicité spatiale de ces figures par l'action d'ondes stationnaires dans le fil. Toutefois, nul ne semble prêter attention à ses résultats ⁽⁴⁾... Il faut reconnaître que le cadre théorique dans lequel s'inscrit von Bezold reste très classique : il se représente encore l'électricité dans les fils comme un fluide s'écoulant

avec des variations périodiques.

Toutefois, même pour Maxwell, le théoricien des champs et de l'éther, l'étincelle garde ses mystères. En 1873, il écrit ainsi dans son grand *Traité d'électricité et de magnétisme* : « Lorsqu'ils [les phénomènes relatifs à la décharge électrique] seront mieux compris, ils jetteront sans doute une vive lumière sur la nature de l'électricité, ainsi que sur la nature des gaz et du milieu qui remplit l'espace. Mais, pour l'instant, il faut les regarder comme étant en dehors du domaine de la théorie mathématique de l'électricité ».

3 – D'après l'estimation ultérieure de Hertz (parvenu lui-même à une fréquence de l'ordre de 100 millions d'oscillations par seconde), Feddersen a atteint des fréquences d'environ 1 million d'oscillations par seconde.

4 – Hertz ignorait les travaux de von Bezold lorsqu'il a commencé ses propres recherches. Plus tard, dans son livre *Electric Waves*, Hertz reconnaîtra leur antériorité et publiera même des extraits d'articles originaux de von Bezold.

DES ÉTINCELLES ET DES HOMMES

Il revient alors aux expérimentateurs attentifs, peu embarrassés par l'absence de théorie, d'accumuler des observations. En 1875, le magazine *Scientific American* rapporte les propos du « célèbre ingénieur et inventeur » Thomas Edison ⁽⁵⁾. Le jeune homme – il n'a que 28 ans – exerce ses talents dans la télégraphie. Il a remarqué qu'un de ses relais électromagnétiques produit des effets étranges : lorsqu'il est en fonctionnement, Edison peut par exemple faire jaillir des étincelles de divers objets métalliques situés à proximité. Or, nulle liaison matérielle n'est établie avec le relais. Hardiment, Edison en tire la conclusion qu'il a découvert un phénomène « *jusqu'alors enfoui dans les profondeurs de l'ignorance* ». Il serait de nature différente de l'électricité et Edison l'appelle « *force éthérique* ». Sa « *découverte* » suscite un vif débat. Peu après, le *Scientific American* fait part d'une nouvelle preuve apportée par Edison : si une boîte contenant « *deux pointes de carbone est approchée tout près de l'un des dispositifs télégraphiques en fonctionnement au bureau de la Western Union, des étincelles, déclare Mr. Edison, font immédiatement leur apparition entre les deux pointes. L'éclair ainsi produit correspond à l'ouverture et à la fermeture du circuit de l'aimant et le signal, ou message, qui traverse l'instrument est donc reproduit sous forme lumineuse à l'intérieur de la boîte d'Edison. Nulle connexion des pointes de carbone par l'intermédiaire de fils avec l'instrument télégraphique n'est nécessaire.* »

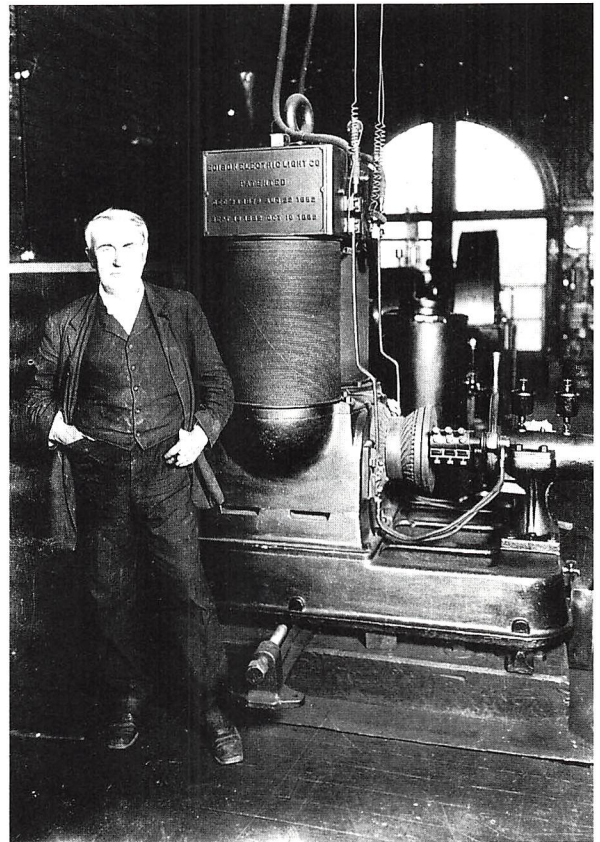
A la lecture de ces articles, un jeune professeur de l'Académie technique de Philadelphie se souvient d'une observation très similaire qu'il avait faite quatre ans plus tôt. Elihu Thomson, né en 1853, manipulait alors une classique bobine de Ruhmkorff. Lorsqu'elle fonctionnait et produisait des étincelles entre ses bornes, il avait remarqué qu'il pouvait – à volonté – faire lui-même jaillir des étincelles dans

Longtemps après ses observations de jeunesse, Edison avouera : « *Je ne comprends toujours pas pourquoi je n'ai pas pensé utiliser mes résultats* ».

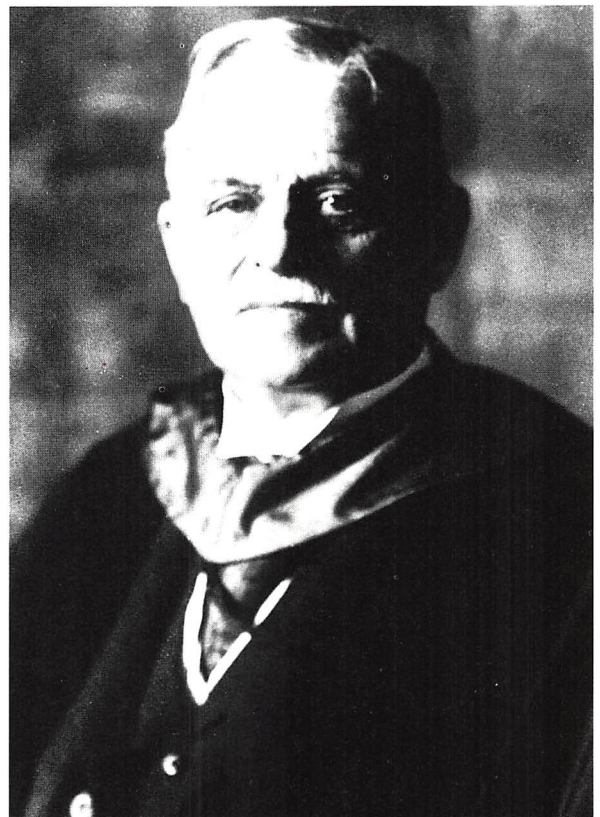
son voisinage immédiat. Il lui suffisait d'approcher un couteau de la surface d'une table, d'un tuyau d'eau, etc. Il avait même réussi à allumer un brûleur à gaz en le touchant avec son couteau !

Contrairement à Edison, Elihu Thomson est persuadé que ce bizarre phénomène d'action à distance est tout à fait de nature électrique. Il reprend donc sa bobine et fabrique un détecteur en forme de « *boîte d'Edison* » : il fixe deux crayons à mine graphite dans une boîte en bois et relie l'un d'entre eux à un gros bouton en laiton vissé à l'extérieur de la boîte. Il se promène dans tout l'immeuble de son laboratoire. Sous les yeux fascinés d'un professeur d'astronomie, il parvient à faire jaillir des étincelles au sixième étage de l'observatoire, soit à plus de 30 mètres de la bobine ! Elihu Thomson entame alors une controverse publique avec Edison.

Elihu Thomson regrettera « *d'avoir découvert un nouveau système de communication* » et, surtout, de « *n'avoir pas été assez avisé pour l'exploiter.* »



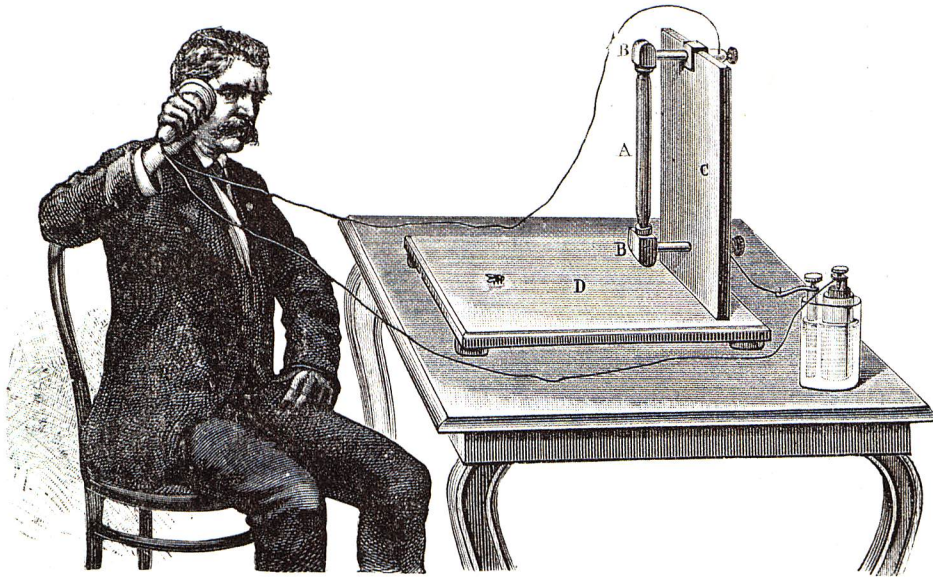
HARLINGUE - VIOLET



BOYER - VIOLET

5 – Voir *Observations of Electromagnetic-Wave Radiation*, Charles Süsskind, Isis, 1964, 55, p. 32-42.

DES ÉTINCELLES ET DES HOMMES



Toutefois, des préoccupations plus urgentes, notamment la préparation d'une exposition pour le centenaire de Philadelphie, détournent l'un et l'autre du sujet. Bien plus tard, ils regretteront d'avoir prématurément abandonné ces recherches. Thomson dira qu'il « avait découvert l'embryon d'un nouveau système de communication, mais n'avait pas été assez avisé pour l'exploiter. » Edison sera plus amer : « Je ne comprends toujours pas pourquoi je n'ai pas pensé utiliser ces résultats. Si j'avais tiré profit de mes propres travaux, j'aurais disposé de la télégraphie à longue distance. »

En 1882, le bureau américain des brevets enregistre la demande d'un professeur de physique, Amos Emerson Dolbear. L'invention porte sur un système téléphonique, dans lequel l'émetteur et le transmetteur sont, chacun de leur côté, reliés à un fil "en l'air" et à la terre. Les deux dispositifs ne sont pas reliés entre eux et Dolbear imagine que la transmission s'effectue à travers la terre. Il remarque cependant qu'il obtient de meilleurs résultats s'il maintient en hauteur les extrémités libres de ses fils. Il va même jusqu'à attacher un fil à un cerf-volant... La qualité de la mise à la terre lui semble fondamentale : « En mettant à la

terre l'une des bornes de la bobine d'induction [du circuit de transmission] aux tuyaux de gaz ou d'eau, et en laissant l'autre extrémité libre, les signaux télégraphiques peuvent être entendus de n'importe quel endroit d'un grand immeuble ou de son voisinage **sans qu'il y ait aucune connexion avec le conducteur**, à condition que la personne soit bien isolée ». En mars 1882, Dolbear se rend à Londres. Devant une assemblée d'ingénieurs, il se livre d'abord à une démonstration d'un microphone à condensateur de son invention. Il installe une douzaine de récepteurs dans une salle de conférences, tandis qu'une personne, située dans la pièce voisine, siffle *God Save the Queen* dans un microphone. Dans un premier temps, des fils conducteurs relient l'émetteur et les récepteurs. Puis, dans un geste spectaculaire, Dolbear déconnecte le fil du récepteur tenu par le président de séance. En le portant à son oreille, celui-ci s'exclame : « J'entends le son parfaitement. Il est à peu près aussi fort que le cri d'un chaton nouveau-né. » Les tentatives d'explication du phénomène vont bon train. Dolbear, probablement peu – voire pas du tout – au fait des travaux de Maxwell, reste convaincu que la conduction à travers la

En manipulant l'une de ses nombreuses inventions, le microphone, David Hughes remarque qu'il réagit à distance aux interruptions du courant dans une bobine d'induction. Pourquoi ?

terre est responsable de la transmission. D'autres n'y voient qu'une « application exceptionnelle des principes de l'induction électrostatique » sans grand avenir...

Deux ans plus tôt, un autre inventeur, l'Anglais David Hughes, avait lui aussi mis en évidence un effet bizarre de transmission à distance. Il avait observé qu'un microphone de son invention réagissait à chaque fois que le courant circulant dans une proche bobine d'induction était interrompu. En analysant cet effet, il avait alors identifié qu'un élément du microphone, le « joint », servait de récepteur pour une émanation invisible en provenance des étincelles accompagnant la rupture du courant dans la bobine. L'effet était d'ailleurs reproductible avec d'autres étincelles, jaillissant d'une machine électrostatique ordinaire. En février 1880, Hughes avait invité trois éminents physiciens dans son laboratoire : William Spottiswood, alors président de la *Royal Society*, Thomas H. Huxley et G.G. Stokes. La démonstration dura trois bonnes heures et une discussion animée s'engagea : comment interpréter le phénomène ? Hughes penchait pour la conduction à travers l'air. Stokes avait balayé cette idée qu'il considérait, à juste raison, erronée. Selon lui, il ne pouvait s'agir que d'un phénomène d'induction électromagnétique. Déçu par ce qu'il avait considéré comme un échec, Hughes n'avait pas poussé plus loin ses investigations.

Au milieu des années 1880, la littérature scientifique ne manque donc pas d'observations en tout genre concernant l'action à distance d'étincelles sur des circuits électriques. A l'évidence, leurs auteurs, qui sont en majorité des inventeurs, manquent d'une formation théorique solide. Ni les uns ni les autres ne font un lien entre leurs expériences et les écrits de Maxwell. En Allemagne, un ambitieux professeur de physique s'apprête à entrer en scène... ■

L. DE SELVA - TAPABOR

PAR
EMMANUEL
CHADEAU

L'AIR DU TEMPS

1887
1888

Édito

L'avenir de l'Europe se lit-il en Allemagne ? Unifié depuis à peine vingt ans sous la rude férule du chancelier Bismarck, le pays est désormais le champion industriel du continent. Sa puissance diplomatique et militaire est incontestée. Ses forces se régénèrent chaque année, car l'Allemagne ne cesse d'inventer et de diffuser à l'échelle de masse des produits parfois révolutionnaires, toujours réputés pour leur sérieux et leur qualité. Le prestige anglais pâlit, la France passe au second plan, au moment même où des circonstances imprévues mettent sur le trône de Berlin un jeune empereur friand d'art militaire, et où l'Empire entend bien être l'arbitre politique du continent et influencer toute la planète. Mais l'ère romantique est révolue, et les artistes préfèrent l'étranger : l'Allemagne est-elle, pour l'instant, un désert culturel ?



L'EXTRAIT LIEBIG se trouve aujourd'hui chez tous les épiceries de l'univers. Les grands travaux du savant illustre ont certes plus fait pour le bonheur du peuple que nombre d'inventions plus bruyantes. Dans cent ans, l'EXTRAIT LIEBIG sera encore dans toutes les mains, quand bien des renommées plus retentissantes seront depuis longtemps dans l'oubli !

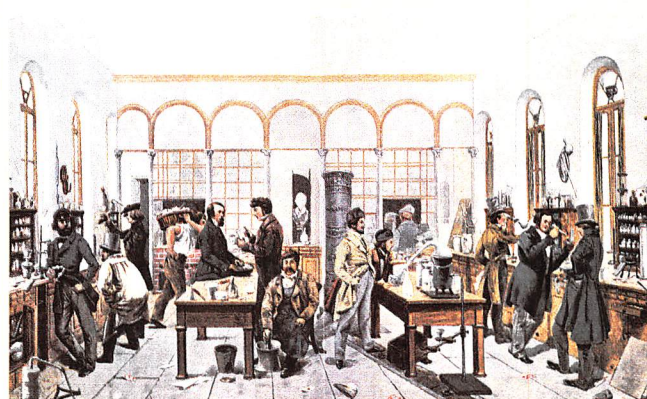
J.L. CHARMET

Couleurs, engrais et paysages.

Les trois grandes firmes chimiques allemandes ont fondé leur prospérité sur les colorants et sur les engrais artificiels indispensables à l'agriculture nationale. Mais l'une d'entre elles, l'Anilin und Soda Fabrik AG (BASF) de Leverkusen voit plus loin : en 1887, sous cette marque, apparaissent les premières pellicules photographiques rapides. Les amateurs de paysages en boîte verront peut-être bientôt leur besace soulagée du fardeau des lourdes plaques de verre à cadre de bois ou de métal.

DES CALORIES EN TABLETTE

A Heilbronn, tranquille ville du Pays de Bade baignée par le Neckar, la maison Knorr, où l'on met l'alimentation en boîte, fête ses quarante ans. C'est l'occasion d'admirer le succès auprès des consommateurs urbains, toujours pressés, du dernier-né de ses produits : des tablettes de soupe en poudre agglomérée de cent grammes, qui associent la viande, les légumes, les condiments. Les Allemands de Liebig, les Suisses de Maggi, résisteront-ils à ce concurrent qui grignote leurs parts de marché ?



J.L. CHARMET

Schnaps ou phénacétine ?

La réputation de la chimie allemande, qui emploie déjà dix mille spécialistes brevetés, n'est plus à faire. Pour preuve, la mise sur le marché, au printemps de 1888, par la maison Hoechst, du premier médicament de synthèse : la phénacétine, un fébrifuge à base d'aniline, destiné à combattre la fièvre et les douleurs localisées. Le schnaps, anti-douleur jusque-là le plus répandu, conservera-t-il les faveurs du public ?

De la Ruhr à la mer du Nord

Le bassin de la Ruhr reste le centre sidérurgique du pays. Chaque année, des millions de tonnes de houille et d'acier vont irriguer les plus vastes marchés. A peine vient-on d'inaugurer le canal Dortmund - Duisbourg qui donne accès au Rhin, et donc à Rotterdam et Amsterdam, que résonnent les premiers coups de bêche d'un chantier bien plus vaste : le creusement en 1887 de l'Ems-Kanal permettra aux navires de haute mer, sans passer par l'étranger, de se rendre au cœur du pays.

L'Air du Temps

Un socialisme puissant mais divisé

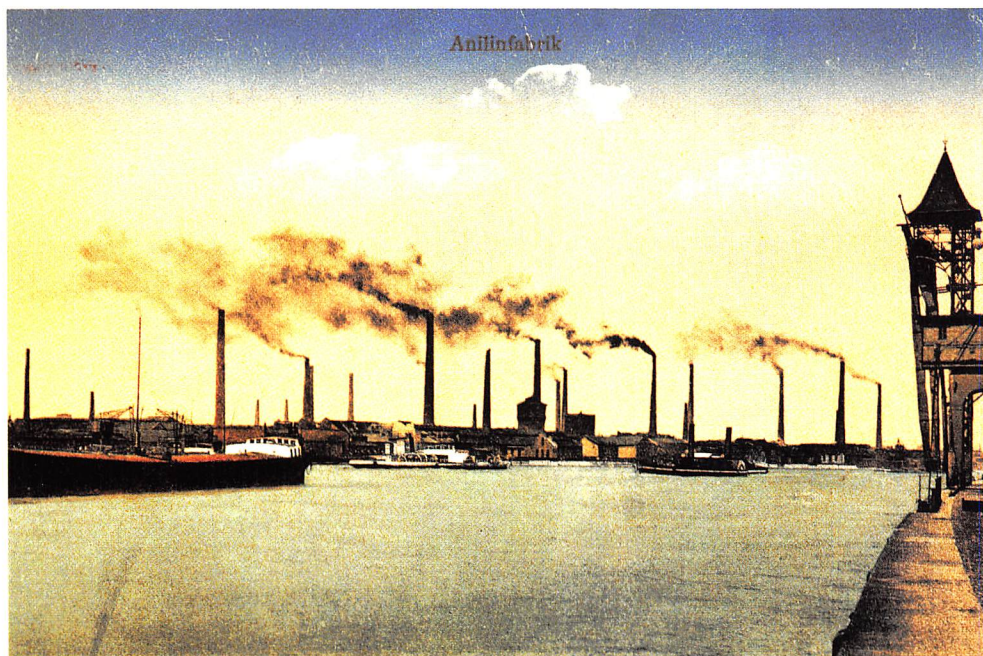
Le Parti social démocrate Allemand est, à tous égards, le premier d'Europe : premier fondé, premier par ses effectifs, et aussi par son influence sur les ouvriers, comme sur les petits employés et sur bon nombre d'intellectuels. Il est aussi la première cause des tracasseries du gouvernement, car la seule force d'opposition résolue, en particulier dans les Länder protestants. Aujourd'hui, il se retrouve partagé entre

deux tendances. Celle de la révolution radicale est incarnée par Karl Kautsky, qui vient de publier, en 1887, *La Doctrine Economique de Marx*. La deuxième, animée par Eduard Bernstein, plus réformiste, rêve de faire gagner au socialisme davantage de voix dans la classe moyenne. Les deux tendances se disputent ainsi l'héritage du philosophe, mort quatre ans plus tôt à Londres.



LA BANQUE MADE IN GERMANY

Les plus grandes banques d'Europe sont maintenant allemandes. Associées à l'industrie et au négoce, elles sont les commis voyageurs du label « made in Germany ». Pour preuve : deux filiales de la Deutsche Bank s'implantent en 1887 en Amérique Latine, jusque-là chasse gardée de la City de Londres. Au Brésil, il s'agit d'emporter les fabuleux contrats portuaires et ferroviaires. En Argentine, où nombre d'Allemands sont déjà établis, on guigne sur des matières premières de grande consommation : le blé, la viande, les cuirs et la laine.



Les plus grandes usines d'Europe

Elles se trouvent à Essen, et comptent vingt mille employés et ouvriers. Entre les mains d'une dynastie au nom impressionnant, elles symbolisent la puissance du Reich. Véritable laboratoire social, on y discute en ce moment

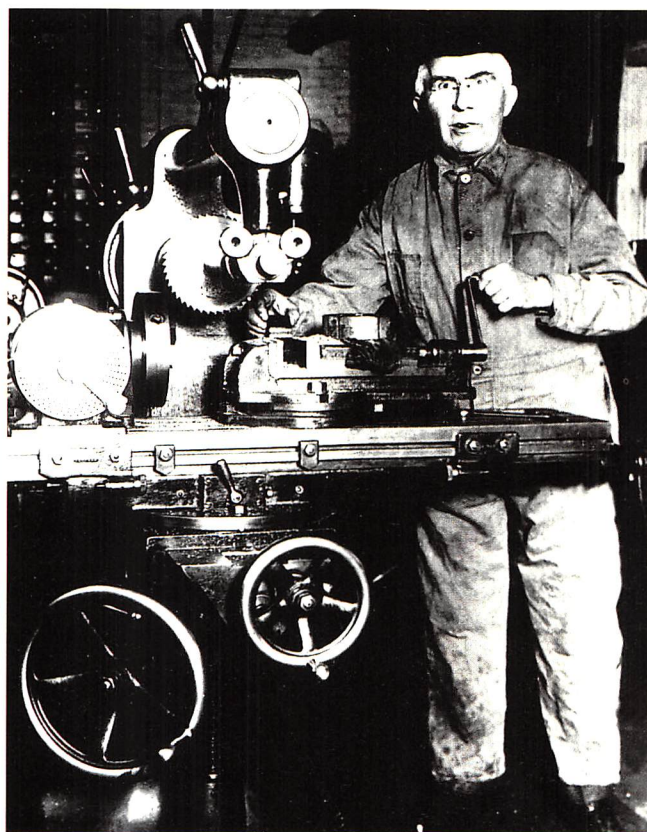
d'un grand projet national : l'instauration d'un régime d'assurance-retraites pour tous les travailleurs, qui complètera la loi progressiste de 1884 sur les accidents du travail. Le nom de ces usines : Krupp.



L'art lyrique à domicile

Aucun Allemand ne doute que son pays, terre natale de Bach, de Beethoven, de Wagner et de Brahms, ne soit la patrie des musiciens. Nulle part au monde, il n'y a autant de chorales et d'orchestres. Est-ce alors par nostalgie qu'un Allemand établi aux Etats-Unis, Emile Berliner, vient de faire breveter à New York des galettes circulaires de zinc enduites de cire et gravées, qu'il appelle « gramophone » ? Avec cette invention, chacun aura bientôt son « philharmonique » à domicile.

COIL VOLIET



L'Air du Temps

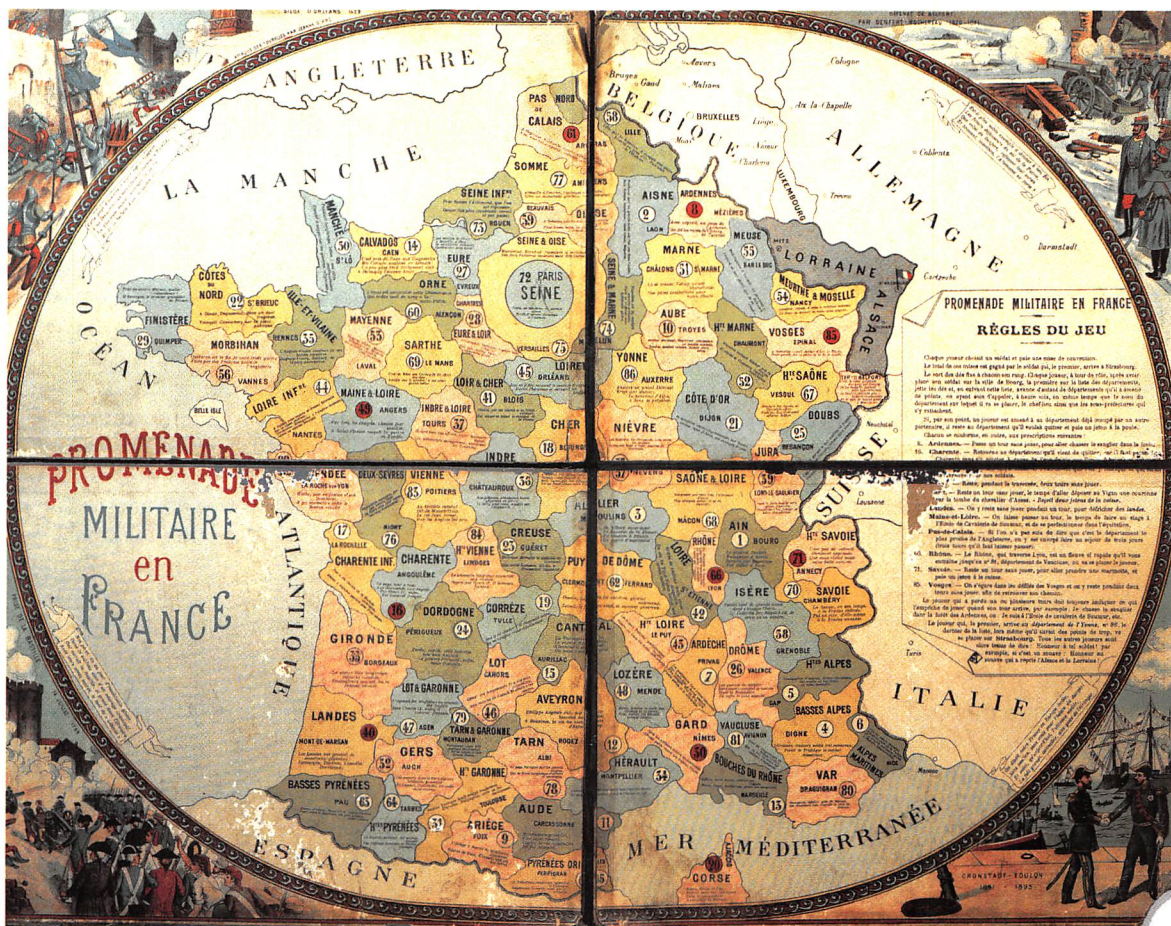
MALAISE FRANCO-ALLEMAND

Le malaise des provinces germanophones annexées par le Reich grandit, au Schleswig, en Pologne, et surtout en Alsace-Lorraine. Le Reich choisit cette dernière, un de ses plus beaux fleurons agricoles et industriels. Il embellit Metz et Strasbourg, achète en masse le minerai de fer de Moselle et les vins d'Alsace. Rien n'y fait. Les Alsaciens-Lorrains rechignent au service militaire et à l'emploi du haut-allemand. En avril 1887, éclate l'affaire Schnæbelé. Ayant franchi illégalement la frontière, ce commissaire de police français est arrêté pour espionnage. Il est finalement libéré pour éviter une épreuve de force avec Paris. Suite à cet événement, on a vu bien des villes et des villages prendre parti pour la France, malgré la pression politique et policière de Berlin.

L'Orient, terre promise ?

Le Reich, à son tour, rêve des mirages de l'Asie. Ici, les diplomates relaient les milieux d'affaires. Il faut contourner l'Empire russe par le Sud, éviter d'affronter les Britanniques qui dominent l'Egypte et l'Océan Indien. Une seule solution : jouer la carte de l'Empire Ottoman, établi sur les deux continents, malgré les réticences de l'Autriche - Hongrie. C'est donc sans surprise qu'au terme de plusieurs années de palabre, un groupe d'affaires allemand obtient en 1888, à peine un an après l'ouverture complète de l'Orient-Express, la concession du chemin de fer qui reliera Constantinople à Ankara, principale ville d'Anatolie.

J.L. CHARMET



L'Allemagne, arbitre de l'Europe



et canaliser les ambitions russes vers la Méditerranée. Le 20 février est renouvelée à Vienne la « Triplice ». Cette alliance avec l'Autriche et l'Italie protège les Habsbourg contre les Romanov, et apaise la querelle séculaire entre Rome et Vienne à propos de Trieste et du Frioul. Le 18 juin, Russes et Allemands signent à Berlin pour trois ans un « traité de réassurance ». Il assure d'une part, la neutralité russe à l'Est, face à une éventuelle attaque française, et, d'autre part, la liberté d'action du panslavisme dans les Balkans, au détriment certes de l'Autriche, mais aussi des Turcs, alliés des Allemands. Le public suit cette diplomatie comme une géniale partie d'échecs. Les experts applaudissent : les diplomates de Whitehall n'auraient pas fait mieux pour assurer la paix en Europe. (*Le nez de la Triplice*)

L'année 1887 donne lieu à un marathon diplomatique, activé par l'affaire Schnæbelé. L'Allemagne, sous l'œil bienveillant de Londres, monnaie son prestige militaire pour contenir la France

FERDINAND DE SAXE-COBOURG EST ÉLU PRINCE DE BULGARIE

Cette année 1887, la Bulgarie fête l'avènement de son Prince : Ferdinand de Saxe-Cobourg. Le jeune Prince, apparenté aux dynasties belge et britannique a aussi les faveurs de Berlin. A l'intérieur du pays, il a bénéficié de l'appui de l'influent Stephan Striboulov. C'est lui qui assura la Régence après l'abdication forcée d'Alexandre de Battenberg en 1886. Le Prince lui confie aujourd'hui la Présidence du Conseil. Si la présence de Striboulov flatte le nationalisme local, en revanche, la Russie, dont le Bulgare fut autrefois l'allié, émet les plus grandes réserves à son égard. Elle



refuse de reconnaître le Prince, et use même de son influence pour rallier à son jugement les autres pays d'Europe.



Un institut scientifique de pointe

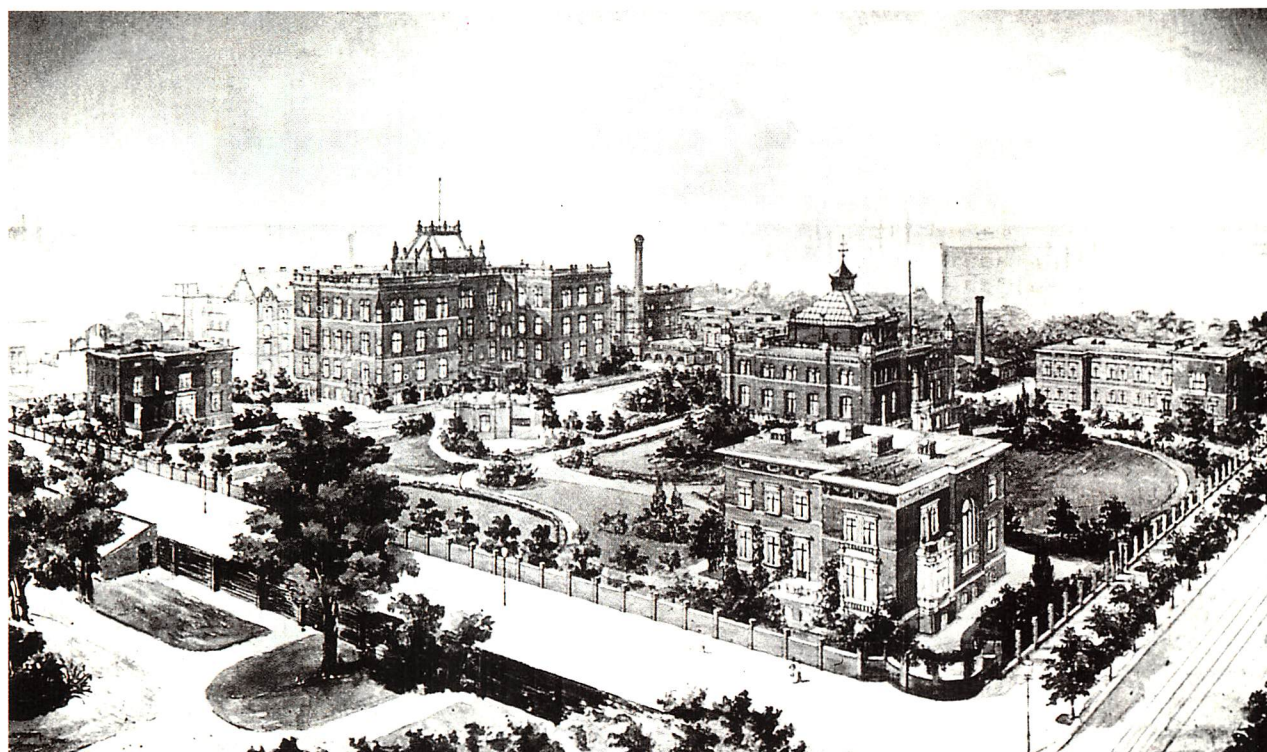
Après une succession de conflits institutionnels, le plus grand et le plus moderne des laboratoires de physique européens vient de voir le jour en Allemagne : l'Institut impérial de physique et technique. Il doit son existence à l'engagement d'un industriel et d'un grand savant : Siemens et Helmholtz.

Par David Cahan

Les institutions scientifiques sont une composante essentielle de l'entreprise scientifique moderne. En dépit de leur incontestable importance, les historiens ne perçoivent pas toujours leur origine, leur structure et leur fonctionnement. Dans quelle mesure peut-on attribuer leur formation aux efforts respectifs des gouvernements, d'un mécénat privé, de scientifiques travaillant seuls ou en groupe ? Et qui plus est, dans quelle mesure attribuer ces établissements à des forces économiques, politiques et sociales dans leur ensemble ?

Pour aborder ces questions, il est peut-être plus judicieux de prendre en considération quelques faits historiques concrets. Point de départ incontournable : l'Allemagne

du XIX^e siècle qui, après 1830, ouvre la voie dans l'émergence d'institutions scientifiques en général et de physique en particulier. L'institution la plus innovante d'alors est le Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR, ou Institut impérial de physique et technique) de Charlottenbourg – près de Berlin – créée en 1887. Son originalité réside dans son statut – c'est le premier laboratoire national de physique du monde – et dans la multiplicité de ses objectifs : mener une recherche physique dans le but final de contribuer à la technologie ; développer des unités et des normes de mesure physique ; améliorer ou créer de nouveaux instruments et méthodes de mesure ; tester et homologuer le matériel et les instruments de mesure physique. Pourquoi le PTR a-t-il



NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

Esquisse du projet architectural du Physikalisch-Technische Reichsanstalt

été créé ? Quelle part ont prise à son instauration les différents individus, les autorités gouvernementales, les groupes scientifiques et les puissances socio-économiques ?

LES MOTIFS DE CRÉATION DU PTR

Deux phénomènes principaux conduisent à la création du PTR : le rapide développement de la métrologie – c'est-à-dire la science et l'art de la mesure physique – et l'émergence d'une industrie fondée sur la science. C'est précisément après 1830 que surgit une nouvelle et intense préoccupation : parvenir à une plus grande précision dans la mesure physique. Dans le but de conduire un travail expérimental et d'observation d'une précision et d'une exactitude croissantes, les physiciens spécialistes dans ce domaine créent de nouveaux instruments de physique, des méthodes et des espaces de travail inédits. Apparaissent

alors des instruments innovants, améliorés, toujours plus spécifiques : des anciens télescopes, microscopes, thermomètres et calorimètres, aux plus récents pyromètres, thermocouples, galvanomètres, voltmètres, polarimètres et spectroscopes, pour n'en citer que quelques-uns.

Au même moment, les métrologues planchent sur l'élaboration d'une table d'unités et de normes physiques universellement reconnue. Rappel des faits. Dans les années 1830, Carl Friedrich Gauss, assisté de Wilhelm Weber, formule l'hypothèse d'un système d'unités de mesure absolues – à savoir distance, temps et masse, qu'il sélectionne comme base de mesure de tous les phénomènes physiques. Une génération plus tard, alors que chacune des nations européennes scientifiquement avancées établit peu à peu ses propres normes électriques, que la toute jeune industrie élec-

trique commence à faire valoir son potentiel économique, scientifiques et industriels en appellent à l'instauration d'unités et de normes métrologiques internationales. En 1875, 17 nations européennes créent le Bureau international des Poids et Mesures à Sèvres. Six ans plus tard, 250 délégués représentant 22 nations assistent au premier Congrès international électrique tenu à Paris. Les participants admettent que le système CGS – système de mesure basé sur le centimètre, le gramme et la seconde – doit constituer la base d'un système absolu auquel seraient rattachées les unités électriques Ohm pour la résistance, Volt pour la force électromotrice et Ampère pour le courant. Toutefois, ils demeurent en désaccord sur les normes, les méthodes et les instruments à utiliser, dans les faits, lors de la reproduction de ce système localement.

Dès les années 1870, et plus particulièrement après 1890, de nouvelles activités industrielles, fondées sur les

sciences et nécessitant des mesures de précision, se développent : industries du froid, de l'acier, de l'extraction minière, construction navale et ferroviaire de pointe, automobile, aéronautique, mécanique de précision, industrie chimique, optique, du verre, électrique. Ces nouvelles industries de « haute technologie » créent une seconde révolution industrielle. L'une d'entre elles, l'électrique, s'adjuge une importance décisive dans les voies que suivra le PTR. L'épicentre de cette industrie se situe à Berlin et le principal pilote en est Werner von Siemens (1816-1892), dirigeant de la firme *Siemens & Halske*.

COMITÉ DE TRAVAIL ET FAUX DÉPART

Dès le début des années 1870, un certain nombre de personnalités scientifiques, industrielles, gouvernementales et militaires de Prusse, perçoivent la nécessité d'établir un institut des techniques

de précision. Entre 1872 et 1882, ils mettent en place une série de comités chargés d'analyser l'état des techniques de précision, et de proposer différents aménagements institutionnels. Ils essuient plus de déconvenues que de succès. Un exemple : leurs premiers efforts se voient repoussés par la conservatrice *Académie des sciences* de Berlin. Alors membre du comité, Siemens propose que l'État crée un institut semblable au *Conservatoire des arts et métiers* de France. De plus, il plaide en faveur d'un renforcement des bases scientifiques des techniques de pré-

cision, alors que les technologues et autres prônent davantage la résolution des problèmes immédiats de ces techniques.

En 1874, le groupe réclame l'instauration d'un institut de mécanique pour contribuer à l'avancement de la mécanique de précision, l'astronomie, la géodésie, la physique, la chimie et autres disciplines. Ce sera un institut de recherche technologique non académique. En 1875, on décide de loger cet institut dans un nouveau bâtiment prévu pour abriter l'*Académie du commerce*. Mais le Corps législatif de Prusse suspend ses crédits à la construction, et en 1879, le jumelage entre l'*Académie du commerce* et celle de l'*Architecture*, qui

forment désormais la nouvelle Technische Hochschule Charlottenbourg, entraîne un nouveau retard. Dès 1882, ni le lieu, ni les fonds n'ont encore été attribués à l'institut de mécanique. A Charlottenbourg, les créateurs de l'institut ont pris un faux départ.

A la lumière de ces retards, un comité rénové se penche une fois de plus sur les possibilités de création d'un tel institut. Tout comme ses prédécesseurs, ce comité se divise sur les objectifs de l'institut. Deux théories s'affrontent : les ingénieurs et les fabricants d'instruments veulent privilégier les besoins immédiats de la technologie ; les scientifiques, eux, s'intéressent autant aux questions scientifiques sous-jacentes qu'aux problèmes technologiques urgents.

Siemens, le scientifique industriel, est aussi un technologue indépendant. Bien qu'en grande partie autodidacte en matière de science, il est, de fait, un physicien accompli. Il se plaît à répéter que la science, pas la technologie, est à ses yeux la valeur culturelle la plus importante et que les sciences de la nature sont le fondement de la technologie. Ainsi, il souhaite un institut où physique et technologie puissent prospérer pour leur profit mutuel.

CRÉATION DU PTR

En 1883, un nouveau comité publie un rapport sur la création d'un institut favorisant la théorie des scientifiques (Siemens inclus) au détriment de celle des technologues. Le rapport prône l'établissement d'un institut de mécanique physique consacré à l'avancement expérimental de la recherche scientifique naturelle exacte et de la technologie de précision. Il affirme que la technologie et l'économie ne prospéreront que si l'on accorde une attention plus soutenue à la science elle-même. Cela

signifie que l'État a tout intérêt à maintenir et à développer les bases scientifiques les plus fondamentales de la technologie de précision. De plus, le comité mentionne qu'en France, en Grande-Bretagne et en Russie, l'État apporte sa contribution à la science pure tout autant qu'à la technologie, et partant, à l'économie. La menace implicite est claire : en soutenant les institutions nationales vouées à la recherche scientifique et aux techniques de précision, ces pays pourraient devenir économiquement plus compétitifs que l'Allemagne.

Le rapport demande la création d'un institut consacré à la recherche technologique et scientifique en optique, électricité, mécanique, métallurgie et autres domaines, mais aussi aux essais et à l'homologation d'instruments, de matériels et de produits physiques. Il insiste aussi sur le fait que l'institut de mécanique physique doit être un soutien et un complément à la science académique et à l'industrie privée, non un rival.

Le rapport est accompagné des exposés de Helmholtz et Siemens affichant tous deux les objectifs scientifiques de l'institut : ceux ayant directement trait à la science pure, aussi bien que ceux contribuant indirectement au progrès des techniques de précision. Les deux hommes mettent également l'accent sur la nécessité d'établir une table d'unités et de normes électriques, et chacun ajoute à son argumentation sa propre petite touche de rhétorique nationaliste. « Il est indigne d'une nation, qui à travers sa puissance et son intelligence occupe et défend une place de premier choix parmi les peuples civilisés, d'abandonner à d'autres nations ou au dilettantisme désinvolte d'individus privés fortunés le soin de créer le savoir fondamental », note Helmholtz.

Siemens prend alors en main la création de l'institut de mécanique physique. En 1883,

Hermann von Helmholtz 1821 - 1894

Après des études brillantes dans sa ville natale de Potsdam, Helmholtz se destine à la physique. Mais les ressources financières familiales insuffisantes le conduisent à s'orienter vers une carrière médicale. Pendant six ans, il officie comme chirurgien dans l'armée prussienne.

Dégagé de ses obligations militaires par son mentor Johannes Müller, il publie, en 1847, un essai prometteur sur la conservation de l'énergie et une série d'articles importants sur la physiologie.

Après un passage comme instructeur à l'*Académie des arts* de Berlin, puis un poste d'assistant au *Musée anatomique* de Berlin, Helmholtz est nommé professeur associé de physiologie à l'université de Königsberg en 1849.

Ses premiers travaux remarquables portent sur la physiologie musculaire et sur la vitesse de propagation de l'influx nerveux. En 1851, il invente l'ophtalmoscope – appareil qui permet d'observer la rétine – Les conséquences sont retentissantes. Le ministère de l'Éducation le nomme alors *Professeur en titre* de l'université de Königsberg.

En 1855, il est professeur d'anatomie et de physiologie à l'université de Bonn. Mais après trois ans, il part pour Heidelberg. Il s'occupe de physiologie nerveuse, électrophysiologie, théorie des couleurs et acoustique physiologique.

En 1871, l'université de Berlin lui offre un poste de professeur de physique. Ses travaux sur la conservation de l'énergie, l'hydrodynamique et l'électrodynamique en font l'un des plus célèbres physiciens d'Europe. Durant les 23 dernières années de sa vie, il se consacre presque exclusivement à la physique, clarifiant plusieurs lois électrodynamiques contradictoires et développant ses propres recherches : thermodynamique, mécanique, microscopie, chimie physique et météorologie. L'un des leitmotivs de son travail scientifique est son attachement à la mesure de phénomènes naturels.

Patriarche de la science allemande, Helmholtz mène des débats sur les concepts fondamentaux, les lois et les résultats physiques. Il est, pendant près d'un demi-siècle, l'un des physiologues et des physiciens les plus créatifs de sa génération.

Werner von Siemens 1816 - 1892

A l'issue de ses études à l'École d'ingénieurs de Berlin, Siemens se destine à une carrière vouée aux sciences appliquées et aux inventions. Il participe à l'élaboration de normes et unités électriques absolues, étudie l'induction électrostatique, les conditions optimales de passage du courant et de fonctionnement des aimants. Côté pratique, il développe le galvanomètre – permettant de mesurer les faibles intensités des courants électriques continus – et autres instruments scientifiques.



DK

En 1847, il fonde sa propre entreprise, Siemens & Halske. Ses affaires sont en grande partie bâties sur les contrats passés avec l'armée prussienne et divers gouvernements européens, pour l'édification et le développement des systèmes de télégraphes électriques. Dès 1860, ses entreprises multinationales installent des lignes télégraphiques de Londres à Calcutta, appelées *Télégraphe indo-européen*.

Après 1867, ses affaires se transforment en un empire industriel. Siemens invente et commercialise le générateur et obtient ainsi une source d'énergie inédite introduisant la nouvelle branche haute tension de l'industrie électrique, utilisée dans l'éclairage et les systèmes de traction.

Celui qui veut concilier les domaines scientifiques, technologiques et industriels est, dès les années 1880, considéré comme le Bismarck de l'industrie.

il fait don à la Prusse d'un site pour un institut de recherche scientifique pure, 12 000 mètres carré de terrain, près de la Technische Hochschule Charlottenbourg. Il suggère que la recherche technologique soit effectuée dans des salles de la Hochschule. En échange, il attend de « l'État qu'il construise, équipe et maintienne, aux frais de la communauté, un institut... de recherches expérimentales avec les laboratoires nécessaires et une résidence pour le directeur ».

Un an plus tard, Siemens modifie par deux fois son offre initiale. Tout d'abord, il l'accroît. Héritier d'une propriété léguée par son frère, il offre à la Prusse les fonds nécessaires à la construction du bâtiment scientifique. Puis il transfère son offre de la Prusse au Reich qu'il estime être le seul à posséder les ressources

et le prestige suffisants pour soutenir un institut scientifique lié aux techniques de précision. La plupart des officiels du Reich accueillent cette offre avec bonheur. Mais les ministres des Finances et du Trésor expriment des réserves sur les frais que cela entraînera. Quant à Bismarck, bien qu'il salue le PTR comme partie intégrante des efforts qu'il mène pour faire de Berlin le centre de la vie allemande, il a, avec son ministre du Trésor, des priorités plus importantes. Il demande la création d'une nouvelle commission pour spécifier les objectifs de l'institut!

Siemens, Helmholtz et d'autres technologues et officiels du Reich déterminent alors la structure et les objectifs précis de l'institut. Siemens et Helmholtz souhaitent qu'il soit divisé en une Section

scientifique et une Section technique, toutes deux régies par un président ayant les pleins pouvoirs. Ils veulent que la Section scientifique traite des *découvertes scientifiques fondamentales* et que la Section technique s'occupe des essais sur les matériaux et de la détermination des constantes physiques, de la mécanique de précision, de l'optique, de la thermométrie et de la technologie électrique – y compris l'établissement et le contrôle des normes et unités électriques.

Alors que certains membres de la communauté technologique allemande apportent leur soutien et leur sympathie au PTR, la plupart se désintéressent de la Section scientifique. C'est le cas de l'*Association des ingénieurs allemands*, représentant à l'origine les ingénieurs mécaniques, très sceptique sur l'engagement de Siemens. Elle informe le Parlement que l'accent mis par la Section technique sur la mécanique de précision est en grande partie étranger à ses propres préoccupations dans le domaine des mécaniques appliquées. Parallèlement, la *Société allemande pour la Mécanique de précision et l'Optique*, organisation qui a tout à gagner du PTR, se plaint auprès de Bismarck. Elle craint que la Section technique n'en vienne à se consacrer exclusivement à un travail de contrôle et d'homologation au détriment du travail technologique de précision. Elle revendique aussi que la Section technique soit dirigée par l'un de ses membres. Le Parlement prête une oreille attentive à ses remarques. En 1886, son Comité budgétaire vote des crédits pour la seule Section technique, et l'élimination pure et simple de la Section scientifique.

En réponse, Siemens, Helmholtz et d'autres redoublent leurs pressions. En mars 1887,

leurs efforts, s'ajoutant à l'élection d'un nouveau Parlement, conduisent à l'approbation du PTR et de la Section scientifique. Les législateurs ont fini par accepter, conscients des bénéfices économiques à en tirer – même à long terme – et de la menace d'une concurrence économique étrangère.

Hormis Helmholtz, les physiciens ne sont pas impliqués dans la création du PTR – la thèse, largement répandue, selon laquelle Siemens a fait cadeau de la Section scientifique à son ami Helmholtz est en grande partie vraie – Le PTR n'est pas non plus le produit de groupes industriels bien que ceux-ci aient tenté de le remodeler. Il n'est pas davantage dû aux gouvernements de Prusse ou du Reich, bien que ceux-ci, à l'exception de Bismarck et de ses ministres des Finances, aient cherché à en accélérer la création. Il est, avant tout, le fruit de la grande perspicacité, de la générosité et du talent politique de Siemens.

LE CHANCELIER IMPÉRIAL DE LA SCIENCE ALLEMANDE

Logiquement, Helmholtz sera le premier président du PTR. Le *Chancelier impérial de la science allemande*, comme on l'appelle, est considéré comme le premier homme de science allemand. Créateur de plusieurs instruments scientifiques, parmi lesquels le myographe – qui permet d'enregistrer en les amplifiant les contractions musculaires – il est lui-même bien placé pour apprécier les problèmes auxquels scientifiques et techniciens sont confrontés dans l'emploi des instruments.

Helmholtz apporte aussi à sa présidence le fruit de ses expériences précédentes en tant que directeur de quatre instituts de physiologie et de physique (Königsberg, Bonn, Heidelberg et Berlin). Arrivé à

Berlin en 1871 comme professeur de physique, sa nomination entraine dans le cadre des efforts des autorités de Prusse et du Reich pour faire de la nouvelle capitale politique de l'Allemagne une capitale scientifique et culturelle.

En tant que doyen de la science allemande, Helmholtz imprègne aussi le PTR d'une vision de la science et de la société qui réponde aux besoins d'une Allemagne en pleine modernisation. Il défend l'idée que la puissance nationale n'est pas seulement basée sur les biens matériels mais aussi sur l'organisation politique et juridique de l'État et sur la discipline morale de chaque individu. Pour survivre et prospérer, prétend-il, l'État doit développer une culture diversifiée. Non seulement il doit soutenir les sciences de la nature et la technologie, mais

aussi les sciences sociales et les humanités ; il doit être source de bienfaits culturels, moraux et politiques intangibles aussi bien que de produits matériels tangibles.

Si les sciences doivent atteindre les buts sociaux qui sont les leurs, alors personne ne doit se poser la question de leur utilité immédiate, met-il en garde. « Dans ce procès fait aux sciences, quiconque recherche leurs applications pratiques immédiates doit être certain que sa quête sera vaine ». C'est ainsi qu'il se fait l'avocat d'un soutien inconditionnel à la science pure en tant que base fondamentale du développement technologique, et d'un ordre politique et social plus humain. Ces idées trouvent leur incarnation dans le PTR.

Au cours de ses six années de présidence (1888-1894), Helmholtz structure le fonctionnement du PTR, recrute le personnel, et détermine les problèmes qui seront abordés.

En premier lieu, il participe à l'élaboration des plans de l'usine du PTR, supervise sa construction – un ensemble de 10 bâtiments, 5 pour chaque section – et veille à son équipement. Le bâtiment principal de la Section scientifique (l'Observatoire) en est la structure centrale et première. Les architectes cherchent avant tout à s'affranchir au maximum des nuisances externes et à maintenir un contrôle de la température. Le PTR comporte également un bâtiment magnétique sans aucun élément en fer, un autre abritant les machines, les bâtiments administratifs et la résidence du directeur. En tout, le Reich a investi près d'un million de marks pour construire et équiper les 5 bâtiments de la Section scientifique. C'est alors l'institut de physique le plus vaste, le plus coûteux et, de tous les instituts de recherche, le mieux équipé de l'Allemagne impériale.

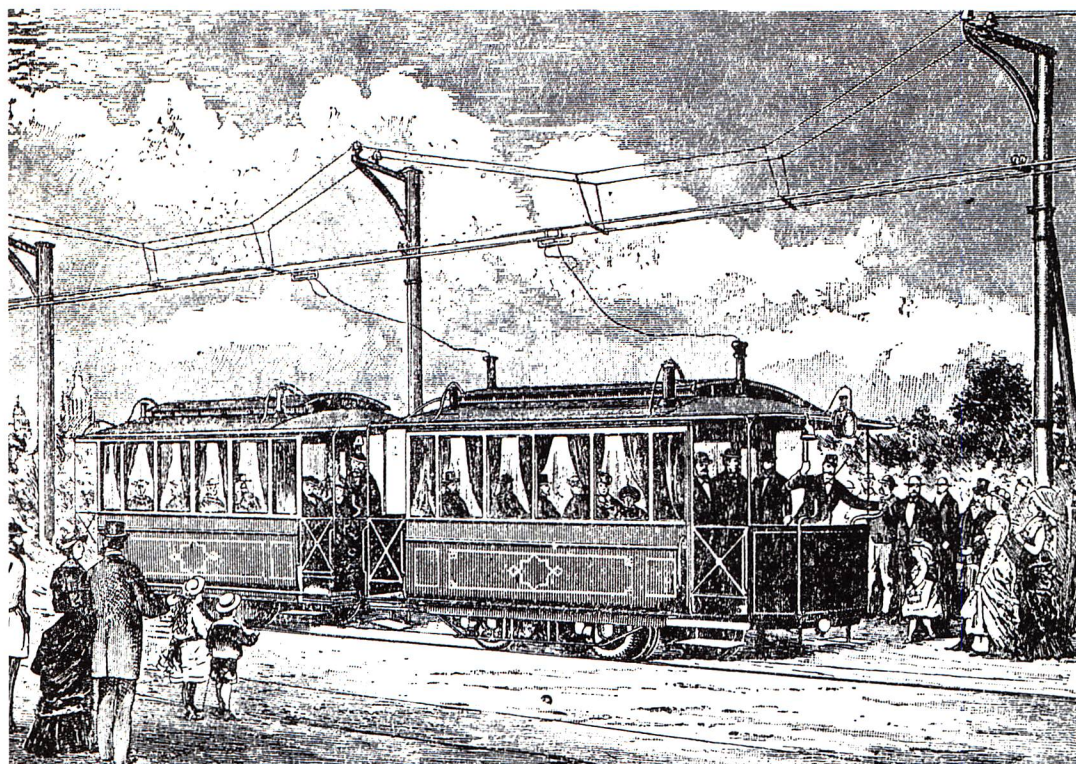
Dès 1893, la Section scientifique est presque entièrement

fonctionnelle. Elle abrite trois laboratoires – Chaleur, Électricité et Optique – et emploie plus de physiciens professionnels que toute autre institution scientifique existante. En principe, Helmholtz assure la direction de la Section ; mais en fait, il délègue ses pouvoirs aux directeurs des trois laboratoires qui ont tous été ses étudiants à Berlin. Alors que Helmholtz veut favoriser la vocation de recherche de la Section et du PTR dans son ensemble, la Section, sous sa présidence, se consacrera essentiellement à l'établissement de normes physiques, la création d'instruments, de méthodes de mesure des phénomènes thermiques, électriques et optiques, particulièrement utiles à la Section technique.

Pour cette dernière, Helmholtz participe aussi à l'élaboration des plans des bâtiments, mais supervision et réalisation seront laissées à son successeur, Friedrich Kohlrausch. L'achat des terres, la construc-

tion et l'équipement de ses 5 bâtiments – un laboratoire, une salle des machines (avec chaudière), le bâtiment principal ou technique, une petite salle de ventilation et la résidence du directeur de la section, ont coûté au Reich environ 2.700.000 marks. La structure d'aménagement de la Section est semblable à celle de la Section scientifique. La responsabilité des quatre laboratoires – mécanique de précision, chaleur et

Construite par Siemens, cette ligne électrique relie Francfort-sur-le-Main à Offenbach



LE DESTIN CHOISIT GUILLAUME II

pression, électricité et optique – incombe au directeur qui supervise également le Laboratoire de chimie et l'Atelier du PTR. Globalement, la Section met au point, améliore et normalise les instruments et les méthodes, et les utilise pour mener un travail routinier de test et homologation.

Dès le milieu des années 1890, le PTR est une institution scientifique, et surtout technologique, prospère. En 1894 par exemple, il emploie 65 personnes et possède un budget d'exploitation de 263.000 marks. Il devient rapidement un institut de physique complémentaire de ses institutions jumelles, l'université de Berlin et la Technische Hochschule Charlottenbourg, avec lesquelles il collabore étroitement. Le jugement scientifique, la stature et l'autorité de Helmholtz ont beaucoup inspiré le groupe de jeunes chercheurs dont il s'était entouré.

Il a transformé le rêve de Siemens en réalité.

POUR EN SAVOIR PLUS

David Cahan, *An Institute for an Empire : The Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 1871-1918* (Cambridge, New York, New Rochelle : Cambridge University Press, 1989)

Hermann von Helmholtz, *Science and Culture, Popular and Philosophical Essays*, Edited and with an introduction by D.Cahan (Chicago – London : The University of Chicago Press, 1995)

David Cahan, *Letters of Hermann von Helmholtz to his Parents, 1837-1846* (Stuttgart, Franz Steiner Verlag, 1993)

David Cahan, *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth Century Science* (Berkeley, Los Angeles, London : University of California Press, 1993).

Le « père de la nation », l'Empereur Guillaume I^{er}, s'est éteint le 9 mars 1888 à l'âge de 91 ans. Monté sur le trône, son fils Frédéric III, est emporté le 15 juin par un cancer. Son fils, Guillaume II, âgé seulement de 29 ans, lui succède. L'Europe s'interroge. Fringant cavalier, le jeune empereur protège la caste militaire. Celle-ci

l'apprécie et voit dans cette investiture l'occasion de dominer une société moderne, mais terne, jusqu'à régner par des messieurs en redingote. Cependant, le chancelier Bismarck tient l'empereur à l'écart des grands choix du pays.

L'opposition des deux hommes, l'inexpérience politique du jeune souverain, son mépris apparent pour le Parlement, augurent-ils de grands changements dans la vie du pays ?



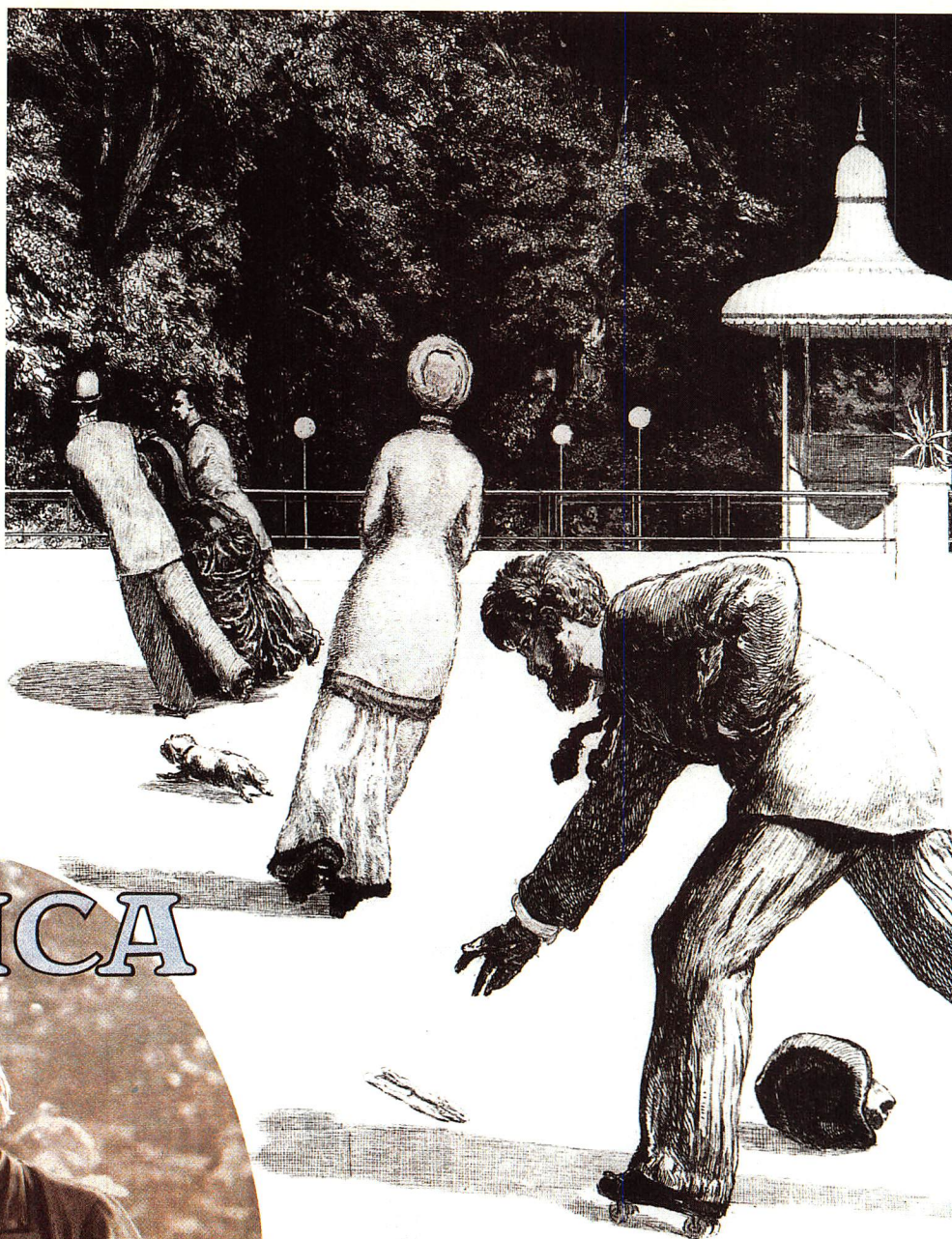
MÉSENTENTE AU SOMMET

A 73 ans, Otto von Bismarck entame avec l'avènement de Guillaume II, la 27^e année de son mandat de Chancelier de la Prusse, puis de l'Empire. Artisan de l'unité allemande, fin politique à l'occasion brutal, vainqueur de l'Autriche, du Danemark, puis de la France, il a aussi dompté les socialistes révolutionnaires comme les « junkers », ces grands féodaux rétrogrades. Bismarck s'identifie au Reich, le nouveau Kaiser le comprend-il ? L'Empereur est jeune, il rêve de grandeur coloniale et d'une société plus autoritaire et ne comprend pas l'œuvre accomplie. Entre le jeune héritier assoiffé de pouvoir et le chancelier habitué à avoir les mains libres, une lutte sourde s'engage. A quand l'affrontement ? La question agite les gazettes et l'opinion.

MÉLANCOLIE À VIENNE

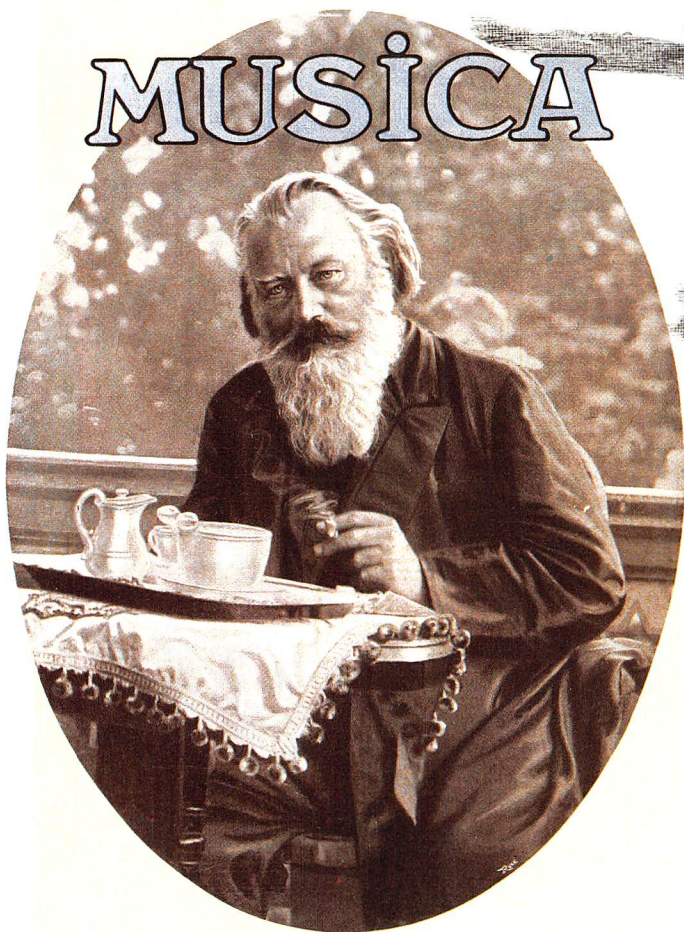
En octobre 1887, le plus célèbre des romantiques allemands, Johannes Brahms, donne son Concerto pour violon et violoncelle, opus 102. On y retrouve les qualités essentielles de l'auteur : architecture somptueuse, liberté harmonique et rythmique, mélodie riche d'émotions. Mais, petit détail, la représentation a lieu à Vienne, en Autriche. Car Brahms vit – depuis vingt-cinq ans – dans la capitale européenne de la musique, où l'a précédé un illustre romantique : Beethoven

L. DE SELVA - TAPABOR



BULLOZ - COLL. PRIVÉE

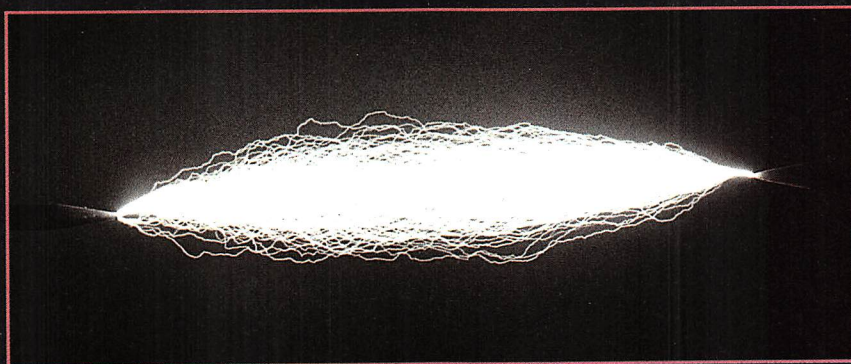
MUSICA



FOU OU GÉNIE ?

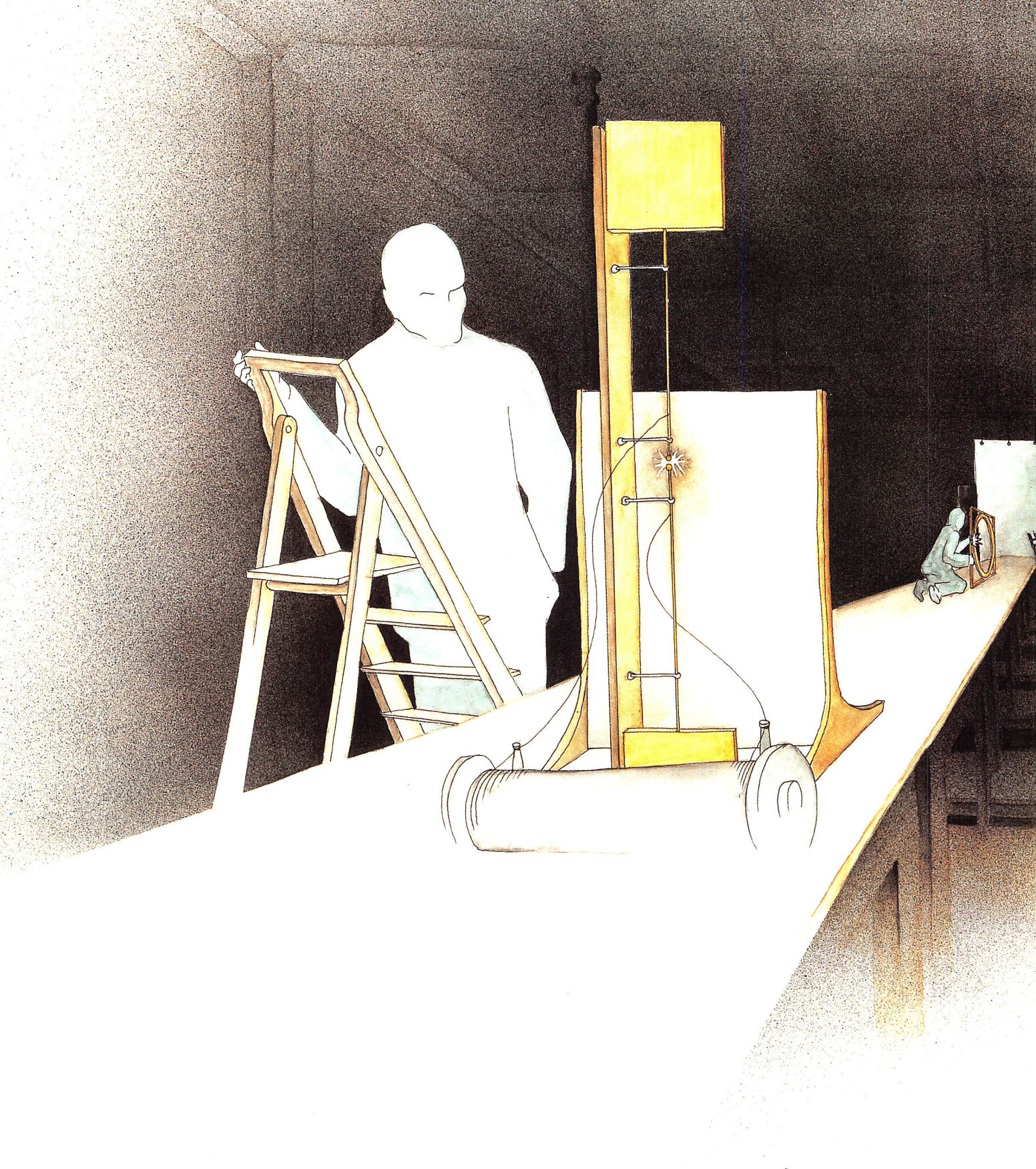
Le peintre et plasticien Max Klinger n'a que trente ans, mais il défraie depuis longtemps la chronique, à Leipzig, sa ville natale, et maintenant à Berlin. Fanatique de Wagner, comme lui inspiré par la fusion des légendes païennes et chrétiennes, il pousse l'académisme jusqu'à une outrance qui intrigue. Son *Jugement de Pâris*, sa dernière œuvre, suscite bien des interrogations : est-ce l'accomplissement d'un style, ou une provocation ?

L'HISTOIRE



Le 9 novembre 1887, Elisabeth Hertz fait part à ses beaux-parents de l'avancée des recherches de son mari : « *En ce moment, il fait apparaître les plus belles choses comme s'il les tirait de sa manche. Evidemment, cela le rend très heureux.* » **L**e 23 décembre, Hertz rapporte que ses expériences lui ont apporté « *un beau cadeau, à la veille de la nuit de Noël* ». **I**l lui faudra trois mois pour le « déballer » et en découvrir les ressorts les plus inattendus. **T**out avait commencé par l'éclatement insistant d'une étincelle...

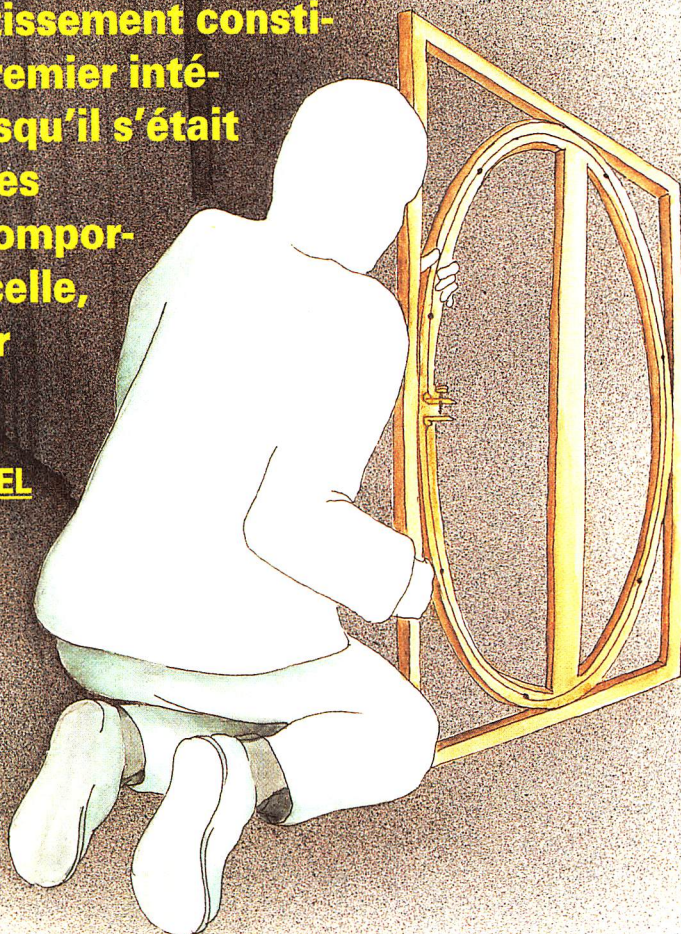
A LA LUEUR D'U



UNE ÉTINCELLE

École supérieure technique de Karlsruhe, vacances de Pâques 1888... Dans un grand amphithéâtre sombre et vide, un professeur de physique et son assistant se livrent à d'étranges manipulations. Des étincelles crépitent... Les instruments semblent tellement rudimentaires... Quelques mois plus tard, le compte-rendu de cette expérience épique déclenchera pourtant un vent d'enthousiasme parmi les physiciens britanniques. La théorie de Maxwell a été vérifiée, affirmeront-ils ! Cet aboutissement constitue une surprise pour le premier intéressé : Heinrich Hertz. Lorsqu'il s'était engagé sur le chemin de ces recherches, guidé par le comportement bizarre d'une étincelle, nulle intention de "vérifier Maxwell" ne l'animait...

PAR MANUEL G. DONCEL



Karlsruhe, capitale du Grand Duché de Bade, sur les bords du Rhin... Telle une araignée au centre de sa toile, le Palais ducal, ceint de ses jardins, a tissé autour de lui un réseau de rues, radiales et concentriques. L'une d'elles, tirée droit vers le sud, indique le méridien. Elle s'orne, avec solennité, d'une pyramide et d'un mausolée : celui du Grand Duc Charles. Elle croise à angle droit une large avenue rectiligne : Kaiserstrasse. Un demi-kilomètre vers l'est, dans Kaiserstrasse, une grande façade de pierre gréseuse et rougeâtre, tournée vers le midi, impose aux regards la majestueuse symétrie d'un palais austère. Deux ailes identiques enchâssent, à sa droite et à sa gauche, un corps central au sommet duquel on lit : *Technische Hochschule* (École supérieure technique). L'aile ouest s'orne d'une dédicace au Grand Duc Leopold en date de 1836. Elle abrite l'une des plus anciennes Ecoles supérieures d'Allemagne. L'aile orientale, plus récente, porte le nom du Grand Duc Frédéric. Elle date de 1863 et abrite de nouveaux locaux.

En ce mois de mars 1888, l'établissement, silencieux, est comme plongé dans le sommeil. Cette année, la semaine sainte tombe entre le 25 mars et le 1^{er} avril, mais les vacances de Pâques ont commencé dès le 12 mars. Trois jours plus tôt, s'est produit un événement national : la mort, le vendredi 9, d'un vieil homme, l'empereur Guillaume 1^{er}. Son fils, Frédéric III, a prêté serment le mardi 13.

Dans la simultanéité de ce deuil et de ces congés, l'école, vide, paraît fermée...

Elle ne l'est pas. Le professeur Hertz, qui occupe la chaire de physique, met à profit ces jours tranquilles pour effectuer une expérience... En fait, une expérience très... spéciale.

S'il la réalise maintenant, c'est qu'il

lui faut disposer pendant plusieurs jours d'un espace bien plus grand que celui de son cabinet de physique, situé au premier étage de l'aile orientale : précisément la grande salle de conférence voisine, vacante en cette période de mars. De surcroît, l'expérience nécessite quelques aménagements de la salle. Il revient à Julius Amann, le technicien qui l'assiste depuis neuf mois, de s'en occuper.

Chaque jour, les deux hommes arrivent très tôt et le professeur Hertz demande qu'on ne le dérange en aucun cas. Julius Amann est passé plusieurs fois à la loge du concierge et a emporté quelques escabeaux, parmi les plus hauts. Pour quoi faire ?

Afin de le savoir, remontons le tunnel du temps jusqu'au, disons, 15 mars 1888. Métamorphosons-nous en témoins clandestins et silencieux, et dirigeons-nous vers ce laboratoire improvisé...

Nous franchissons le grand porche central de l'École, et pénétrons dans le jardin. D'habitude peuplé d'étudiants, il est aujourd'hui désert. Nous apercevons, tout de suite à droite, à angle droit du majestueux bâtiment de façade, l'édifice qui abrite la salle où travaillent Hertz et Amann. C'est une élégante construction à étages, posée sur une assise construite, elle aussi, en pierre de taille rougeâtre. Son plan évoque celui d'une chapelle romane. Nous nous dirigeons vers ce qui serait son abside où, au lieu de la grande baie centrale du déambulatoire, on trouve une haute porte. Elle donne accès à un imposant escalier qui nous conduit à l'étage puis, derrière une porte à double battant, à l'arrière de la grande salle de physique. Toutes les fenêtres sont fermées.

Montant les escaliers, un bruit nous surprend, fait de claquements sourds et violents, les uns constants et à intervalles réguliers, les autres variables et aléatoires. Ouvrons la porte. Un échafaudage improvisé nous oblige à nous baisser, puis à nous glisser le long du

mur du fond de la grande salle... On perçoit aussitôt l'origine des claquements : de vives étincelles blanchâtres qui, dans cette salle fermée, dégagent une forte odeur. Elle ressemble à celle du phosphore, mais il s'agit d'ozone. Les étincelles régulières et puissantes viennent de la partie avant de la salle. Leur lueur, masquée par un écran de bois, ne nous parvient cependant qu'atténuée. Heurtant davantage les yeux et les oreilles, d'autres petites étincelles blanches éclatent à intervalles irréguliers, presque à l'aplomb de nos têtes.

Leur éclat, intermittent, est à peine suffisant pour nous dévoiler les lieux. La grande salle rectangulaire – quinze mètres de long sur quatorze de large – comprend trois travées, séparées par deux rangées de colonnes métalliques. A six mètres de hauteur, sa voûte à caissons supporte, à l'ordinaire, au milieu de la travée centrale, une succession d'élégantes lampes à gaz alimentées par des tuyaux de cuivre. Aujourd'hui, lampes et tuyaux ont été démontés. Ils reposent sur le sol des travées latérales, à côté des escabeaux qui ont servi à les décrocher.

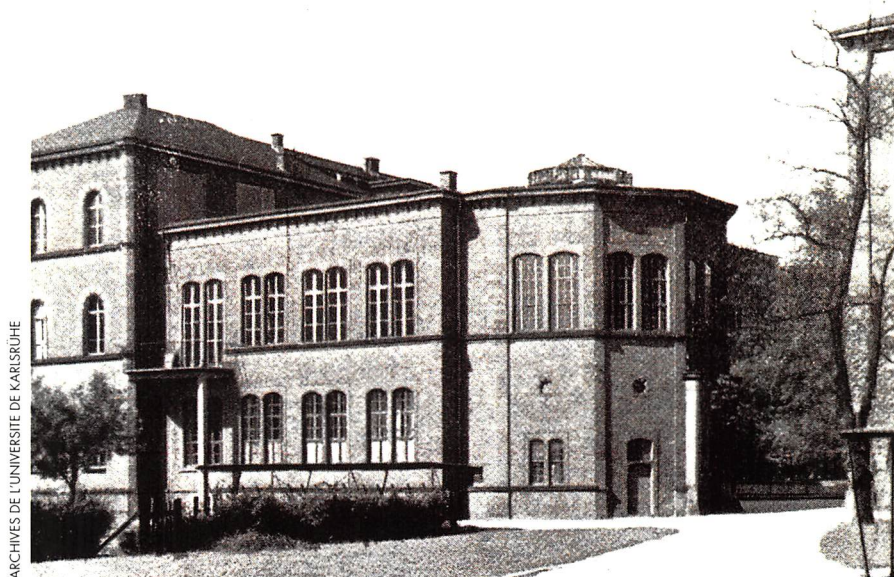
Au fond de la salle, la partie centrale du mur a aussi été transformée. Au-dessus de la grande porte, l'échafaudage a permis de disposer à mi-hauteur du mur une plaque de métal de quatre mètres sur deux. Elle est suspendue par des fils métalliques à une tuyauterie de gaz. Les étincelles irrégulières qui se réfléchissent dans ce miroir nous font comprendre que l'expérience se passe là, à mi-hauteur, dans la travée centrale. Celle-ci, habituellement occupée par les bancs et les pupitres des élèves, est aujourd'hui inaccessible. Les bancs, recouverts d'un empilement de tables et d'estrades, servent de soubassement à une sorte de passerelle de bois qui, à deux mètres au-dessus du sol, s'étend sur toute la longueur de la travée. Faiblement éclairées par les étincelles, les silhouettes de Hertz et d'Amann

semblent perdues dans les airs.

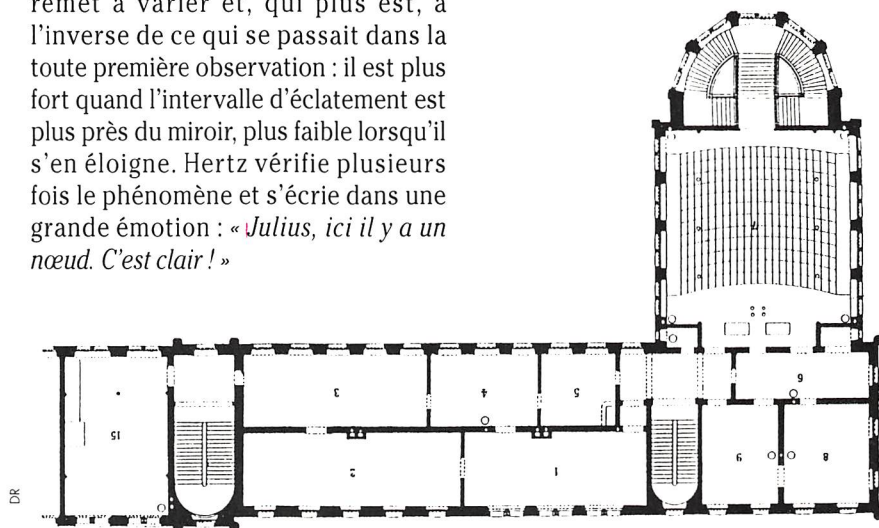
Amann, à l'un des bouts de la passerelle, vers l'avant de la salle, surveille le crépitement puissant et régulier que cache l'écran. Hertz, lui, se déplace lentement sur la passerelle de bois.

Il tient à la main un curieux objet, un grand anneau de cuivre fixé à un cadre de bois rectangulaire d'environ 1 mètre de hauteur. L'anneau, de 75 cm de diamètre, est orientable sur deux axes, horizontal et vertical. Si l'on pouvait s'en approcher, on verrait qu'il n'est pas fermé, laissant apparaître un tout petit intervalle, dont la longueur est réglable au moyen d'une vis micrométrique. C'est dans ce minuscule intervalle, qu'après avoir posé son instrument en un endroit de la passerelle, puis orienté l'anneau, Hertz voit jaillir ces étincelles qui le fascinent. Sitôt produites ici, jailliront-elles ailleurs ? Hertz répète la même opération un peu plus loin, et encore un peu plus loin. Mais, ici ou là, les étincelles n'ont pas le même éclat, ni ne font le même bruit.

Quand nous le surprenons dans sa lente et étrange danse sur cette cour-sive de fortune, entre sol et plafond de la salle obscure, Hertz se trouve à quelque quatre ou cinq mètres du miroir métallique. Tandis que de sa main gauche, il maintient immobile le cadre de son appareil, il fait pivoter de sa main droite l'anneau autour de son axe vertical. L'intervalle d'éclatement de l'étincelle, placé à mi-hauteur de l'anneau, se trouve ainsi successivement éloigné ou rapproché du miroir. Or, selon ses positions, l'étincelle n'a pas du tout les mêmes caractéristiques. Au point le plus proche du miroir, le crépitement est faible, à peine perceptible. Au point le plus éloigné, il devient beaucoup plus fort... Puis Hertz déplace l'appareil, l'éloignant de 40 cm supplémentaires du miroir, et recommence l'expérience. Cette fois, le crépitement est identique aux deux positions symétriques de l'intervalle d'éclatement. Mais 40 cm plus loin encore, le crépitement se



remet à varier et, qui plus est, à l'inverse de ce qui se passait dans la toute première observation : il est plus fort quand l'intervalle d'éclatement est plus près du miroir, plus faible lorsqu'il s'en éloigne. Hertz vérifie plusieurs fois le phénomène et s'écrie dans une grande émotion : « *Julius, ici il y a un nœud. C'est clair !* »



Puis il refait l'expérience à des distances variées : à chacune des deux extrémités de la galerie, immédiatement devant le miroir et à proximité de la source d'étincelles située derrière l'écran, là où veille Julius Amann...

Il est déjà très tard quand les deux hommes quittent les lieux. Hertz est aux anges : « *Je n'ai plus aucun doute là-dessus : nous avons produit des ondes stationnaires. Nous avons détecté trois nœuds : un au milieu, très net, et les deux autres aux extrémités, près du*

Dans cet édifice, dont le plan évoque celui d'une chapelle romane, Hertz improvise un laboratoire dans la grande salle de conférences. Le cabinet de physique était trop petit pour la réussite de l'expérience. Mais il a fallu attendre les vacances de Pâques pour que les étudiants libèrent les lieux...

miroir et près de l'oscillateur, un peu plus flous. Mais il reste encore beaucoup de choses à vérifier. Entre autres, le fait que nos corps n'aient pas perturbé ces

ondes. Je vais montrer tout cela au docteur Schleiermacher, et nous refaisons l'expérience avec lui. En outre, il me semble que nos ondes électrodynamiques dans l'air dépassent un peu les 4,5 m de demi-longueur que je leur attribuais. »

Le docteur Auguste Schleiermacher, avec lequel Hertz a l'habitude de contrôler ses expériences, est l'assistant du laboratoire de physique. Quant à l'expression « ondes électrodynamiques dans l'air », Hertz vient de l'inventer. Aujourd'hui, nous les désignons par le terme d'« ondes radio » ou... « ondes hertziennes » !

Cette expérience historique, unique en son genre, est la première à démontrer à la fois l'existence et la nature ondulatoire de ces phénomènes. Une découverte que notre visite permet de dater du jeudi 15 mars 1888. Pourquoi Hertz cherchait-il de telles ondes dans l'air ? Comment était-il arrivé jusque-là ?

Avant de commencer le récit de cette aventure, avançons une remarque : telle que nous venons de la présenter, la reconstitution de l'expérience fait – certes – appel à l'imagination (remontée d'un tunnel temporel oblige !). Mais elle s'appuie solidement sur les publications ultérieures de Hertz, sur les notes de son journal personnel, et sur les quelques lettres qu'il envoya à ses parents à cette époque. Ce sont les uniques sources que l'on ait conservées sur cette expérience historique. Concernant son cheminement antérieur, on a pu disposer, depuis peu, de notes de

laboratoires détaillées, conservées inédites par certains descendants de la famille Hertz. De ces lignes, nous extrairons certaines notations et, à l'aide de sa correspondance, essaierons de leur redonner vie tout en les replaçant dans le cadre de la biographie de Hertz...

RETOUR AU DÉBUT DE L'AUTOMNE 1887

Depuis ses études à Berlin, Hertz conservait en mémoire une question « en souffrance ». Dans les premiers jours de l'été 1879, l'Académie des sciences de Berlin avait, sur proposition de Hermann von Helmholtz,

ouvert un concours. Un prix était offert à l'étudiant qui saurait apporter des preuves expérimentales pour résoudre un problème crucial d'électrodynamique. On savait depuis longtemps qu'un conducteur, soumis à des variations de courants, pouvait déclencher l'apparition d'un courant induit dans un autre conducteur. Mais que se passait-il pour les

corps non-conducteurs, les **diélectriques** ? Lorsqu'ils sont soumis à des variations de polarisation électrique, ces matériaux isolants sont-ils, eux aussi, susceptibles d'entraîner des effets électrodynamiques sur des conducteurs voisins, c'est-à-dire d'y **induire des courants** ?

Cette question sur l'existence de ce que nous appelons les « courants de déplacement » ⁽¹⁾ avait été soigneusement choisie par Helmholtz, qui l'estimait à la portée de l'exceptionnel

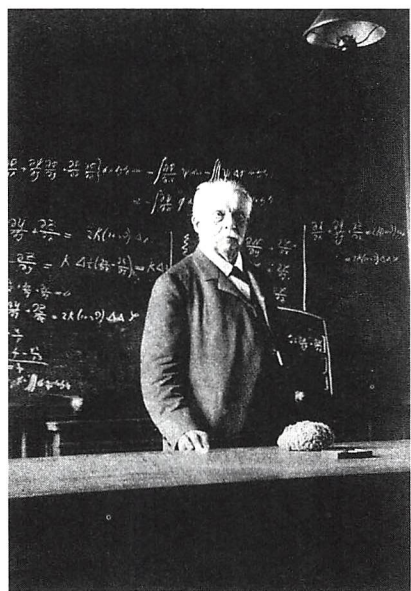
talent de son élève Hertz. Ce dernier venait en effet de résoudre un autre problème posé par la faculté des sciences, et était à la recherche d'un sujet de thèse.

Hertz passa une bonne partie de l'été 1879 à évaluer en profondeur ses chances de réussite. Il renonça finalement au projet. A l'époque, aucun moyen de laboratoire ne lui aurait permis de disposer de courants alternatifs dont les fréquences soient suffisamment élevées pour produire les effets envisagés. Il se lança donc dans une thèse d'électrodynamique théorique, qu'il soutint quelques mois plus tard.

Or, c'est ce même problème que, huit ans après, à Karlsruhe, il entreprend de résoudre. Sans doute parce qu'en 1887, il vient de mettre au point un oscillateur qui lui permet de travailler sur de très hautes fréquences ⁽²⁾. De ce premier appareil, on a gardé une photographie, prise et développée par Hertz lui-même (voir photo page opposée).

On y voit deux sphères de cuivre : elles sont creuses et ont un diamètre d'une trentaine de centimètres. Elles sont reliées par un conducteur droit de 0,5 cm de diamètre et de 1,5 mètre de longueur, coupé en son milieu sur un très petit intervalle, « détail » crucial sur lequel nous allons revenir. Ces deux sphères sont soumises aux décharges d'une bobine de Ruhmkorff (que l'on voit sur la photo).

Décomposons artificiellement le processus répétitif. L'une des sphères se charge d'électricité positive, l'autre



Hermann von Helmholtz

THE SCIENCE MUSEUM, SCIENCE & SOCIETY P.L.

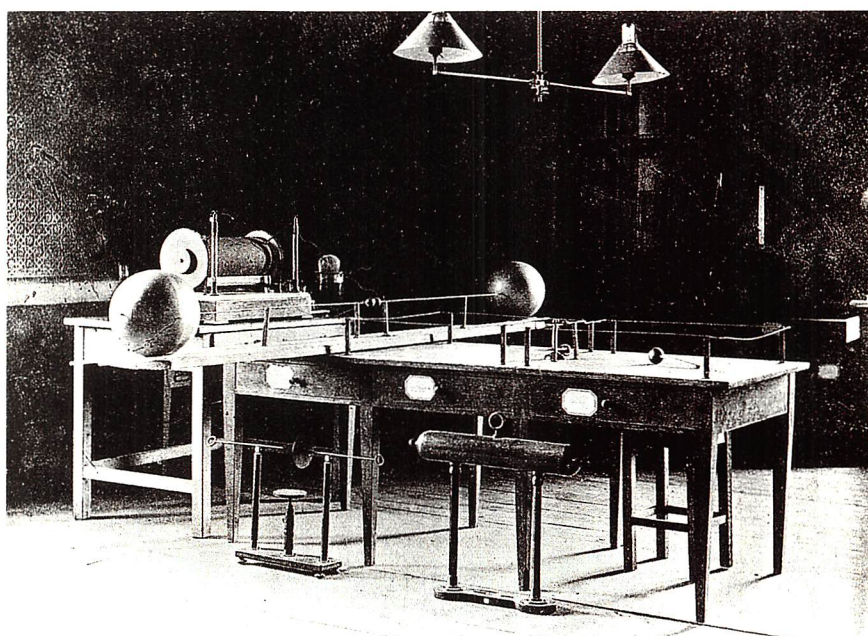
1 – Les courants de déplacement, invention théorique de Maxwell, sont les « symétriques », pour les isolants, des courants électriques ordinaires dans les conducteurs. Prenons l'exemple d'un condensateur, formé par deux plaques métalliques, en cours de charge. Maxwell suppose que, sous la tension électrostatique, un courant de déplacement apparaît dans l'isolant séparant les deux plaques. Pour Maxwell, l'éther subit une polarisation et ce processus est constitutif d'un courant (cf Cahiers n° 17, Maxwell, p. 49-50). Cette hypothèse a-t-elle des conséquences observables ? Telle est l'une des questions posées par l'Académie des sciences...

2 – Ce dispositif est, aujourd'hui encore, appelé un oscillateur de Hertz.

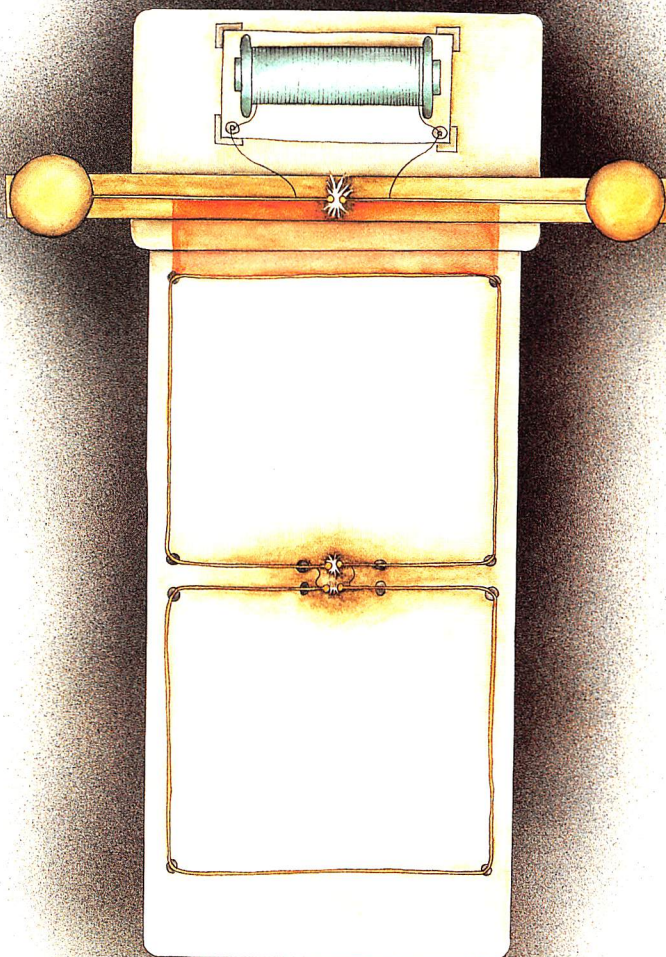
d'électricité négative, puis la bobine cesse d'agir. Lisons Hertz lui-même, dans un texte paru en avril 1889 dans *Les Archives de Genève* : « Les deux électricités se combineront, mais le courant ainsi développé se prolongera au-delà de cette combinaison même, et créera sur les deux sphères des charges inverses de celles qu'elles présentaient d'abord ; celles-ci provoqueront une nouvelle décharge, et ainsi de suite, il se produira de la sorte une série d'oscillations entre les deux sphères ; [...] la disposition envisagée constitue une sorte de diapason électrique. La théorie conduit d'une manière parfaitement sûre à cette conception et elle permet en outre d'évaluer avec une certaine approximation la durée d'oscillation de ce diapason à un cent millionième de seconde. »

Cette fréquence est indépendante de celle des décharges de la bobine, qui ne dépasse pas mille oscillations par seconde. La théorie à laquelle Hertz fait allusion montre que la fréquence de son système « sphères-fil conducteur » dépend uniquement de la capacité électrique des sphères et de l'auto-inductance du fil : plus l'une et l'autre sont petites, plus la fréquence doit être grande. Hertz avait ainsi estimé à l'avance capacité et inductance de son appareil.

Sur la photographie, prise et développée par Hertz, on aperçoit l'un de ses premiers oscillateurs. La bobine délivre un courant oscillant au conducteur rectiligne, terminé par deux sphères et coupé en son milieu par un éclateur. Selon l'interprétation de Hertz, par induction (figurée en rouge sur le schéma), le courant, créé dans le fil parallèle et voisin du circuit secondaire, entraîne l'apparition d'étincelles dans ses petits éclateurs. Hertz peut de nouveau s'attaquer au problème posé par l'Académie des sciences en 1879. Il écrivait à l'époque : « J'espère que je serai capable de me sortir du pétrin dans lequel je suis embourbé ». Huit ans plus tard, il est en passe d'y parvenir.



DEUTSCHES MUSEUM MÜNCHEN



DESSIN A. MATHIEU

Hasard et obstination

A Karlsruhe, le professeur Hertz enseigne la physique. Il fait appel à des appareils de laboratoire tout à fait ordinaires pour démontrer divers effets électrodynamiques à ses élèves. Ainsi, pour mettre en scène l'induction électromagnétique, Hertz utilise notamment des spirales de Riess. Ce sont en fait de simples fils conducteurs, enroulés en spirales plates, aux extrémités desquels sont soudées de petites sphères métalliques. La démonstration du phénomène mis en évidence par Faraday est classique : une batterie est, par l'intermédiaire d'un interrupteur, reliée aux bornes d'une première spirale. La deuxième est installée immédiatement sous la première et ses deux petites sphères terminales sont placées très proches l'une de l'autre. En fermant le circuit supérieur, le courant induit dans la spirale inférieure déclenche l'apparition d'une étincelle entre ses sphères.

Lorsque ses étudiants sont partis, Hertz "joue" avec le dispositif. Il remplace la batterie par des sources de courant plus faibles, c'est-à-dire peu susceptibles d'induire un effet suffisant pour la production d'une étincelle : d'abord, des bouteilles de Leyde, puis une petite bobine d'induction (fig. 1). Dans ce second cas, il est surpris de constater qu'il peut encore faire apparaître une étincelle dans la spirale inférieure. Il lui suffit de respecter une condition inattendue : qu'une étincelle jaillisse également entre les bornes de la spirale supérieure, lorsque la bobine délivre son courant. Comment expliquer cet effet de "stimulation" par l'étincelle du circuit primaire ?

Hertz décide de modifier la géométrie de ce circuit : il déroule le fil, le coupe en son centre et relie les deux pôles de la bobine à cet endroit. De cette façon, il installe l'intervalle d'étincelle, son centre d'intérêt, directement au milieu de son dispositif (fig. 2). Cette fois encore, ce circuit linéaire tout à fait original induit la production d'une étincelle dans la spirale inférieure.

Hertz concentre alors son attention sur le comportement électrique du conducteur linéaire : comment évolue la différence de potentiel entre deux points du fil ? Il y branche un circuit très simple, au sein duquel se trouve un nouvel intervalle d'étincelle de longueur réglable par un micromètre (fig. 3). En jouant simplement sur la longueur de l'intervalle nécessaire pour produire une étincelle, Hertz pense ainsi avoir accès à la différence de potentiel entre les deux points du fil. Il découvre cependant que l'étincelle est d'une intensité constante, quelle que soit la position de son circuit. Le micromètre semble donc inutile...

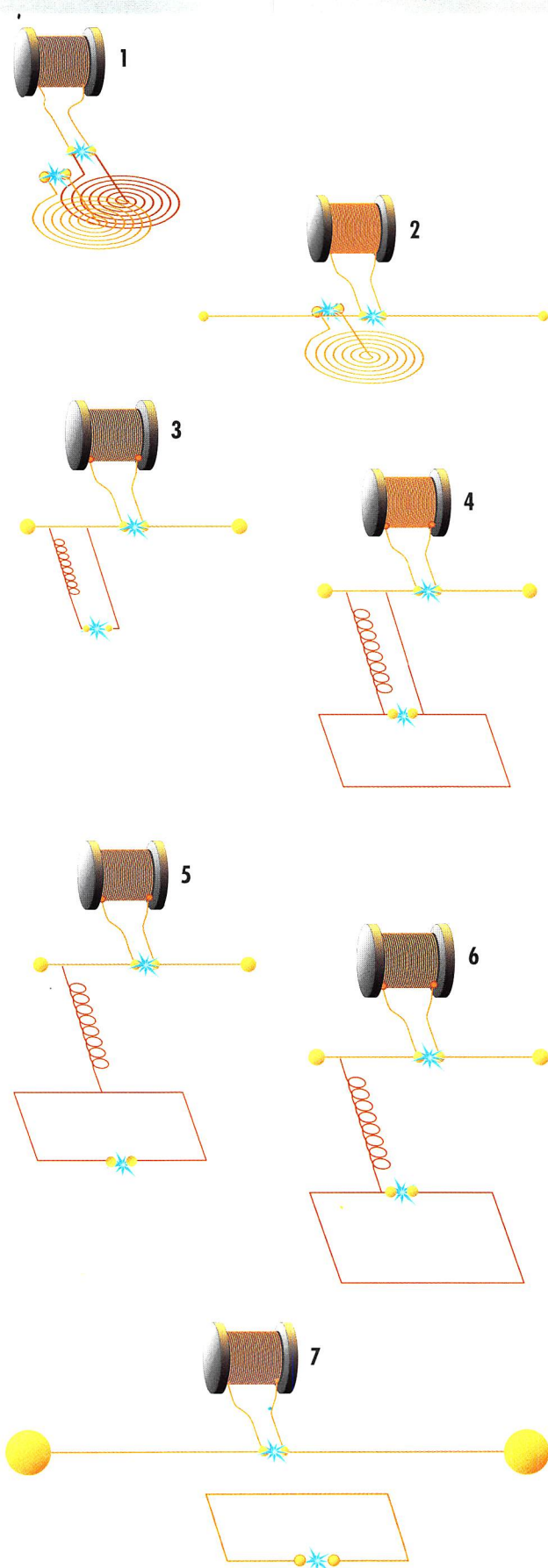
Comment faire disparaître l'étincelle ? Peut-être en shuntant les deux sphères du micromètre (fig. 4)... Non, l'étincelle continue à jaillir !

Le geste suivant de Hertz est surprenant : il ôte l'une des connections de son circuit "résistance-micromètre" avec le fil linéaire (fig. 5). Là encore, en dépit d'une absence de connection – et donc de l'absence d'un courant passant dans ce circuit –, les étincelles se produisent toujours (fig. 6)... Un peu plus tard, Hertz supprimera définitivement toute connection entre les deux circuits (fig. 7).

Au terme de cette traque d'un hasard expérimental, l'obstination de Hertz le conduit donc à disposer de deux éléments distincts et originaux. Le premier sera appelé l'*oscillateur*, au milieu duquel jaillit toujours une étincelle. Le second est le *résonateur* : doté lui aussi d'une interruption de son circuit, il ne produit des étincelles que selon certaines orientations dans l'espace par rapport à l'oscillateur.

G. C.

Pour en savoir plus sur les détails de cette recherche, lire *The creation of scientific effects*, par Jed Z. Buchwald, The University of Chicago Press, 1994.



En revanche, la théorie était muette sur l'importance du « détail » qu'il a découvert, un peu par hasard, au cours d'expériences antérieures : pour que l'oscillateur fonctionne régulièrement, en d'autres termes, pour que l'oscillation des charges soit produite et entretenue, le fil conducteur doit comporter une petite discontinuité, que les charges franchissent sous la forme d'étincelles. Cette partie du dispositif s'appelle un **éclateur**. Dans son dispositif expérimental (voir photo), l'éclateur est placé à mi-distance entre les deux sphères. Il comporte deux petites boules de laiton massif, de trois centimètres de diamètre, séparées par un espace d'un peu moins d'un centimètre. C'est là que se produisent régulièrement ces étincelles dont la blancheur et le crépitement heurtent la vue et l'ouïe. Précisons leur rôle en lisant Hertz, qui reprend son image empruntée à l'acoustique : « *Pour qu'un semblable diapason vibre, il faut que l'action excitatrice se produise ou cesse d'une manière suffisamment instantanée, c'est-à-dire dans un temps qui soit du même ordre que la durée d'oscillation. Il n'est pas possible de réaliser des changements aussi brusques par des procédés mécaniques, mais l'étincelle électrique sous la forme spéciale que nous avons décrite nous en donne le moyen.* »

Ce faisant, Hertz établit un nouveau record de fréquence pour les courants alternatifs. A son époque, ce type de courants s'obtenait ordinairement en court-circuitant, à l'aide d'un circuit conducteur, des bouteilles de Leyde bien chargées. Les oscillations produites dans le circuit atteignaient des fréquences de l'ordre du million d'oscillations par seconde. Celles de l'oscillateur de Hertz dépassaient, comme nous l'avons dit, la centaine de millions d'oscillations par seconde !

Parce que leur intensité varie bruta-

lement dans le temps, ces courants alternatifs de haute fréquence ont une puissante action électrodynamique : ils induisent des courants dans un conducteur voisin. Ce phénomène d'induction, Faraday l'avait décrit en détail plus d'un demi-siècle auparavant. Peu de temps après, Ampère et Weber en avaient tenu compte dans leurs théories électrodynamiques. L'une et l'autre distinguaient clairement les actions **électrostatiques entre charges** (attraction/répulsion, induction d'une charge de signe opposé dans un corps voisin) et les actions **électrodynamiques entre courants** (courants qui s'attirent ou se repoussent, courants dont la variation d'intensité induit un autre courant dans un circuit voisin).

Sur la photo (p. 51) du dispositif de Hertz, on aperçoit, placé devant l'oscillateur ou *circuit primaire*, un *circuit secondaire*. Rectangulaire (en fait, il est

ici dédoublé), ce circuit-ci court tout autour de la table, soutenu par des supports de bois et isolé à la cire. Hertz a pour objectif de vérifier que des courants induits par le circuit primaire apparaissent dans le circuit secondaire, par interaction entre leurs côtés parallèles. S'ils existent, ces courants induits doivent avoir la même fréquence que les courants primaires, mais avec une intensité certainement plus faible. Pour les détecter, Hertz a équipé le circuit secondaire d'un micro-éclateur (en réalité deux, puisque le circuit est double), très étroit et réglable à l'aide d'une vis micrométrique. C'est là, dans l'espace séparant une pointe d'une petite boule de métal, que se produisent de minuscules étincelles – leur longueur est comprise entre le millimètre et le centième de millimètre – qui révèlent la présence de ces courants induits à hautes fréquences. Ces minuscules

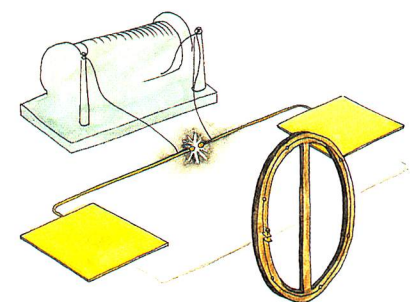
étincelles ne peuvent être vues que dans l'obscurité (parfois, à la loupe), mais leur grésillement caractéristique permet de déceler leur présence à l'oreille.

Hertz avait également découvert que ces étincelles pouvaient être d'autant plus fortes que la fréquence propre du circuit secondaire, dépendant là encore de sa capacité électrique et de son inductance, était *accordée* à celle du circuit primaire. On dit alors qu'il se produit une *résonance* entre les deux circuits. Aussi, dans toutes ses expériences, Hertz utilisera un secondaire qui *résonne* avec le primaire. En conséquence, on appellera désormais le primaire *oscillateur* et le secondaire *résonateur*.

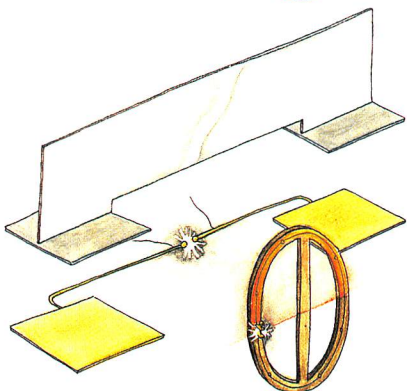
De notre point de vue post-hertzien, l'oscillateur et le résonateur que montre la photo représentent les modèles les plus primitifs qui soient d'un émetteur et d'un récepteur de radio. Aujourd'hui, nous concevons



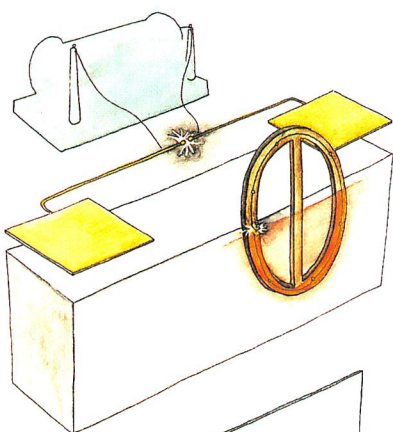
Pour mieux détecter les étincelles dans le secondaire, il faut accorder sa fréquence à celle de l'oscillateur : l'habileté du bricoleur ne nuit pas...



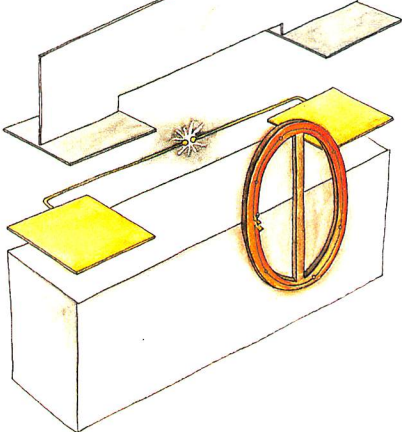
A



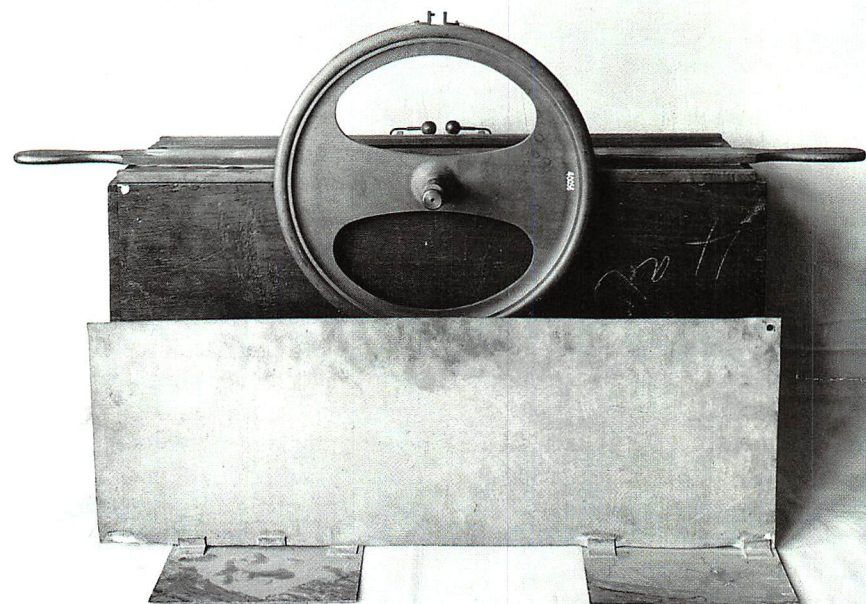
B



C



D



DEUTSCHES MUSEUM MÜNCHEN

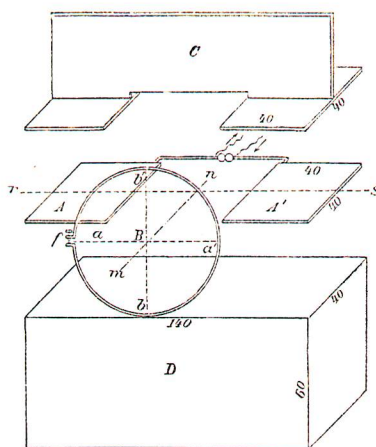


Fig. 24.

Pour s'attaquer au vieux problème de l'Académie, Hertz invente une balance électrodynamique, lointain écho de la balance électrostatique de Coulomb. Il s'agit ici d'équilibrer les effets électrodynamiques produits par un conducteur et un isolant lorsqu'ils sont tous deux excités par un oscillateur de Hertz. (ci-dessus, les éléments de la balance originale et le dessin de l'article publié par Hertz). « J'ai réussi à résoudre le problème, presque comme un jeu d'enfant », écrit-il à ses parents.

DESSIN A. MATHIEU

sans peine que des ondes radio d'une certaine fréquence, émises par un oscillateur, soient captées par un résonateur précisément accordé sur cette

fréquence. Pour Hertz, cependant, il ne s'agissait encore que d'un oscillateur de courants haute fréquence, capable d'induire à distance un courant dans un circuit secondaire disposé parallèlement et pas trop éloigné. De fait, la résonance n'avait pour lui d'autre intérêt que d'**augmenter l'intensité des courants induits**.

Hertz avait aussi constaté un autre phénomène. Lorsque l'éclat de l'oscillateur illuminait le micro-éclateur du résonateur, ce dernier était perturbé. Les petites étincelles ne se produisaient pas quand on les attendait. Hertz crut, au début, avoir découvert un nouveau type d'action électrique entre étincelles. Mais, assez vite, il se rendit compte que ce phénomène était lié à l'émission de lumière, plus précisément à la lumière ultraviolette des éclats de l'oscillateur.

Sans le savoir, il avait découvert ce que l'on appellera quelques années plus tard l'effet photoélectrique : un phénomène quantique, lié au fait que des photons ultraviolets arrachent des électrons à des conducteurs chargés négativement. Hertz, bien entendu, ne pouvait l'analyser en ces termes, mais il légua le problème à ses successeurs après l'avoir cerné. Pour l'heure, il tira une conséquence pratique de son observation. Il décida, pour toutes ses expériences ultérieures, de masquer la

L. DE SELVA - TAPABOR

lumière de l'oscillateur à l'aide d'un écran, afin de neutraliser son effet perturbateur sur l'éclateur du circuit secondaire.

A ce point, Hertz disposait donc de quoi **produire et détecter les courants de haute fréquence** qui l'intéressaient. Il pouvait à nouveau s'atteler au vieux problème posé par l'Académie de Berlin. Déjà, en décembre 1886, il avait tenté de le reprendre en s'inspirant d'une procédure imaginée lors de sa toute première étude. Mais cette procédure exigeait une trop grande précision et ses essais échouèrent.

En septembre et octobre 1887, Hertz crée un nouvel appareil très sensible, une sorte de *balance électrodynamique*. Elle ne sert plus, comme la vieille balance de Coulomb ⁽³⁾, à équilibrer des forces électrostatiques entre charges. Il s'agit maintenant d'**équilibrer des forces électrodynamiques**, c'est-à-dire des actions inductives qu'exercent les courants de haute fréquence. Ce dispositif original constitue la clé pour résoudre avec succès le vieux problème...

Hertz a publié, avec la description de ses expériences, un dessin schématique de son appareil dans l'un de ses articles (voir figures p. 54). Au centre, on distingue un nouveau modèle d'oscillateur, toujours alimenté par une bobine de Ruhmkorff : les sphères précédentes ont été remplacées par des plaques de métal de 40x40 cm. L'oscillateur lui-même est contenu dans un plan horizontal. Le résonateur, circulaire, est placé à la verticale du plan de l'oscillateur, mais de telle façon que son micro-éclateur se trouve sur le diamètre horizontal contenu dans le plan de l'oscillateur (A). Cette disposition symétrique doit

avoir pour effet d'induire des courants **exactement équivalents** dans les demi-cercles supérieur et inférieur.

Aucune étincelle ne doit se produire dans le micro-éclateur du résonateur : ses deux pointes sont en permanence au même potentiel. Tout se passe comme si le « fléau » de la balance restait en position verticale. Mais que l'on crée un déséquilibre et le fléau penchera... Que fait Hertz ? Au-dessus de l'oscillateur et parallèlement à lui, il installe un conducteur. Celui-ci est traversé par les courants haute fréquence induits par l'oscillateur ; il réagit et, à son tour, va induire des courants supplémentaires dans le demi-cercle supérieur du résonateur (B). En conséquence du déséquilibre entre la partie haute et la partie basse du résonateur, des étincelles se produiront dans le micro-éclateur.

conducteur en partie haute, on dispose cette fois-ci un bloc suffisamment volumineux d'isolant en partie basse, par exemple un gros bloc de paraffine (C), ou une pile de livres posés sur le sol ? L'équilibre est là encore perturbé : des étincelles se produisent ! Tout se passe donc comme si un courant haute fréquence était induit dans l'isolant, **induisant à son tour un courant supplémentaire dans la partie basse du résonateur**.

De la même façon que le fléau d'une balance reste à l'équilibre lorsqu'on charge les deux plateaux de deux poids égaux, il suffit de reprendre l'expérience en disposant, de manière adéquate, le conducteur en partie haute et l'isolant en partie basse : l'équivalence des deux courants induits dans le résonateur ramène à l'équilibre et les étincelles cessent (D).

Le samedi 5 novembre 1887, Hertz expédie à son vieux maître Helmholtz un descriptif détaillé de ses expériences avec la *balance électrodynamique*. Hertz lui demande de présenter cet article à l'Académie des sciences de Berlin et, si on l'en juge digne, de le publier dans leurs comptes-rendus, l'*Akademieberichte*. Le mardi 8, il reçoit à Karlsruhe une carte de Berlin datée du

7 : « Reçu manuscrit. Bravo !! Sera porté à l'imprimerie jeudi, H.v. H. »

Hertz venait ainsi de résoudre le problème resté en souffrance depuis ses années berlinoises...

NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1887

Peu après cet échange de lettres avec Helmholtz, Hertz semble pris d'une frénésie de recherche. Enfermé dans son laboratoire, il ne prend même plus le temps d'écrire à ses parents, ce qu'il n'a jamais cessé de faire depuis

*Manuscrit original. Bravo!!
Helmholtz et Hertz en leur vieillesse
à Berlin*

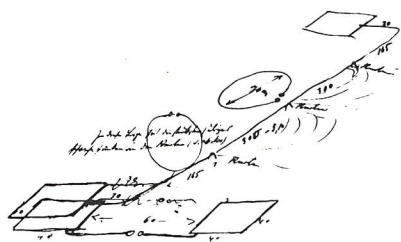
H. v. H.

En félicitant son ancien élève, Helmholtz manifeste son intense satisfaction en apposant, après le mot **Bravo**, deux points d'exclamation, un usage peu courant en allemand.

C'est exactement ce qu'observe Hertz, notant par ailleurs que les épaules de l'observateur peuvent faire office de conducteur : lorsqu'il se penche un peu trop pour mieux regarder le micro-éclateur, des étincelles y apparaissent.

Mais que voit-on si, au lieu d'un

3 - Voir Les Cahiers de Science et Vie n° 26.



Sur ce croquis datant du 8 novembre 1887, Hertz dessine sa propre représentation schématique des ondes stationnaires dans un fil (trois nœuds sont repérés).

qu'il les a quittés. C'est sa femme qui le remplace, et écrit ainsi le 9 novembre 1887 : « Heins a déjà entamé lundi (7 novembre) une nouvelle expérience et, à son retour à la maison l'après-midi, m'a dit qu'il avait monté l'appareil, l'avait essayé et avait obtenu en un quart d'heure d'admirables résultats... En ce moment, il fait apparaître les plus belles choses comme s'il les tirait de sa manche ! Evidemment, cela le rend très heureux, et moi aussi, lorsqu'il m'en parle le visage rayonnant. »

Quelques jours plus tard, Heinrich Hertz prend lui-même la plume : « Quant à mes expériences personnelles, j'ai eu de nouveau de la chance cette semaine... Je dois avouer que j'ai nourri des désirs qui confinent à l'effronterie... Je n'ai jamais été en position plus favorable ; d'un côté comme de l'autre s'ouvrent de véritables perspectives d'expériences nouvelles et intéressantes, parmi lesquelles je suis en train de sélectionner un petit nombre... La satisfaction inattendue de tels désirs procure un niveau totalement nouveau d'exigences : on essaie des choses qu'on n'aurait jamais osé essayer si l'on n'avait été dépassé dans ses espérances... »

En quoi consistent donc ces expériences qui, selon Elisabeth, s'apparentent à des tours de magie, et qui, selon Heinrich, ouvrent sur des perspectives inespérées ? Quelques semaines plus tard, Hertz décrit à son maître Helm-

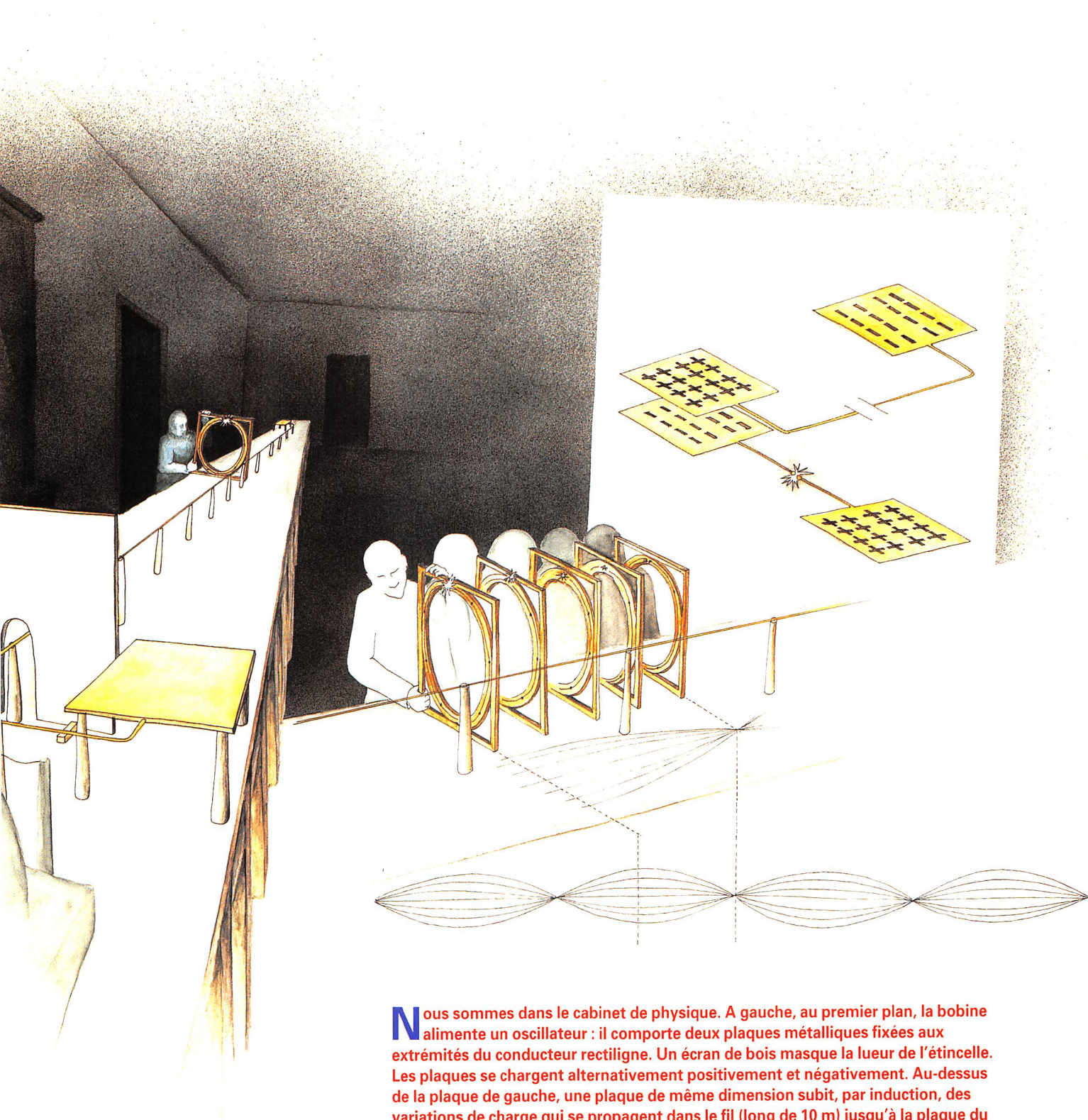
holtz les premières concrétisations de ses espoirs : « Cependant, j'ai eu quelque chance avec certaines expériences ultérieures. Je suis arrivé, en effet, à l'aide des mêmes oscillations utilisées dans mes travaux antérieurs, à produire des ondes stationnaires présentant de multiples nœuds dans des fils conducteurs rectilignes. En me limitant à 4 ou 5 nœuds, je peux faire apparaître ces nœuds avec autant de netteté que ceux d'une corde vibrante. »

Le détail de cette expérience nous est aujourd'hui connu grâce aux Notes de laboratoire récemment retrouvées. Au jour du 7 novembre, un mois avant la lettre ci-dessus, Hertz avait noté : « Observé oscillations stationnaires dans conducteurs rectilignes à travers tout le laboratoire ». Le jour suivant, il illustre ces propos d'un charmant croquis (ci-dessus). Nous y reconnaissons, dans la partie inférieure, l'oscillateur utilisé « dans ses travaux antérieurs » (l'expérience de la balance électrodynamique). Dans la partie supérieure, on distingue un fil conducteur d'une dizaine de mètres, terminé à chaque extrémité par une plaque de cuivre carrée. Les « nœuds » auxquels Hertz fait allusion sont figurés à l'aide de signes ressemblant à de petits arceaux (ici, au nombre de trois – il y a deux « nœuds » supplémentaires aux extrémités du fil). Ils se distribuent sur la longueur du conducteur et, selon les annotations, sont espacés de trois mètres. Voilà donc comment Hertz se représente ses « ondes stationnaires dans des fils ». En quoi consistent-elles pour lui ?

Chacune des plaques de l'oscillateur – intéressons-nous particulièrement à celle de gauche – se charge alternativement positivement et négativement des centaines de millions de fois par seconde. Comme le montre le dessin, Hertz a placé, juste au-dessus de la plaque de gauche, une autre plaque de même taille. Par pure induction électrostatique, cette plaque avant du circuit supérieur se charge négativement



A LA LUEUR D'UNE ÉTINCELLE



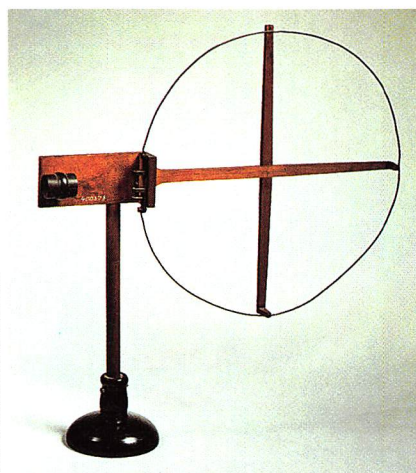
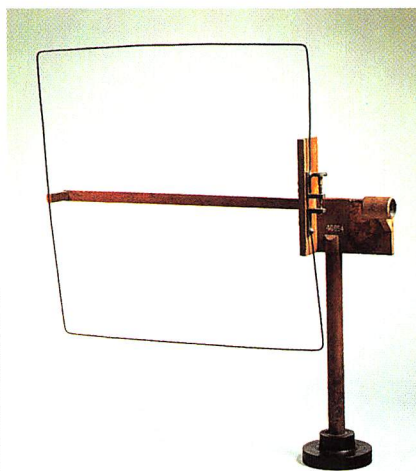
Nous sommes dans le cabinet de physique. A gauche, au premier plan, la bobine alimente un oscillateur : il comporte deux plaques métalliques fixées aux extrémités du conducteur rectiligne. Un écran de bois masque la lueur de l'étincelle. Les plaques se chargent alternativement positivement et négativement. Au-dessus de la plaque de gauche, une plaque de même dimension subit, par induction, des variations de charge qui se propagent dans le fil (long de 10 m) jusqu'à la plaque du fond. En déplaçant le résonateur le long du fil, Hertz peut « faire apparaître les nœuds avec autant de netteté que ceux d'une corde vibrante ».

A LA LUEUR D'UNE ÉTINCELLE

et positivement, à la même fréquence que celle de l'oscillateur. Elle engendre ainsi un courant alternatif dans le conducteur de 10 mètres auquel elle est connectée. Ce courant parvient à l'extrémité du fil conducteur : à son tour, la plaque arrière se charge négativement, puis positivement, et ceci avec un léger décalage temporel par rapport à la plaque avant (les physiciens de l'époque savent que le courant circule dans les conducteurs à une vitesse de l'ordre de celle de la lumière). En conséquence, cette plaque arrière engendre, dans le fil, un courant qui apparaît ainsi comme « réfléchi » par la plaque. Ce courant de retour parvient – lui aussi – à la plaque avant avec retard. En faisant varier par tâtonnements la longueur du conducteur, Hertz fait en sorte que le temps d'aller et retour du courant corresponde à un multiple exact de la période d'oscillation, (ici, au quadruple de cette période). De cette façon, l'effet du courant retour dans la plaque avant vient renforcer l'effet induit par la plaque inférieure (celle de l'oscillateur). Hertz parvient à maintenir dans le circuit supérieur des courants alternatifs de très haute fréquence : telle est sa conception des « ondes stationnaires dans des fils ».

A l'aide de son résonateur, Hertz s'occupe alors de les étudier sur toute la longueur du fil conducteur. Il découvre trois « nœuds », trois points où l'intensité totale du courant est constamment nulle, puisque les courants aller et retour y sont en permanence égaux et opposés. Sur les « ventres », points situés au milieu du segment séparant deux « nœuds », l'intensité du courant varie entre deux extrêmes, positif et négatif.

Lorsque Hertz approche son résonateur du fil conducteur, le résonateur est parcouru par un courant induit, qui produit de petites étincelles dans le micro-éclateur. L'intensité de ces dernières, remarque-t-il, dépend entièrement de l'orientation du



DEUTSCHES MUSEUM MUNCHEN

DEUTSCHES MUSEUM MUNCHEN

résonateur par rapport au fil et de la position du micro-éclateur. Il a dessiné sur son schéma la position du résonateur qui lui a permis de révéler ces « nœuds ». Il l'a découverte « vers le 6 novembre » et il peut alors percevoir les nœuds – « presque aussi nettement que les nœuds d'une corde vibrante ». Comme s'il visualisait les trois nœuds d'une corde de violon que l'on force à donner le second octave de sa note fondamentale...

Ces « ondes dans les fils » seront les seules ondes que concevra Hertz jusqu'à la fin de décembre 1887. L'oscillation – qui atteint plusieurs centaines de millions de périodes par seconde – est celle de l'intensité du courant qui parcourt le fil. On l'a vu, ces courants à variations rapides induisent des courants dans le résonateur et, conformément aux conceptions électrodynamiques de l'époque, cette action inductrice est censée s'exercer à distance de manière instantanée.

Quoi qu'il en soit, la manipulation de ces ondes « dans les fils » entraîne Hertz dans une nouvelle série d'expériences. Il supprime la plaque réfléchissante située à l'extrémité du fil conducteur et prolonge ce dernier sur

Hertz fabrique divers types de résonateurs (circulaires ou carrés). Il les utilise pour une nouvelle série d'expériences (ci-dessous). Le fil (60 m de long) termine sa course dans le sol. Selon son orientation, le résonateur est sensible aux ondes en provenance du fil proche, ou à l'action directe de l'oscillateur. L'exploration des effets combinés doit permettre d'accéder à la vitesse de propagation de l'action directe.

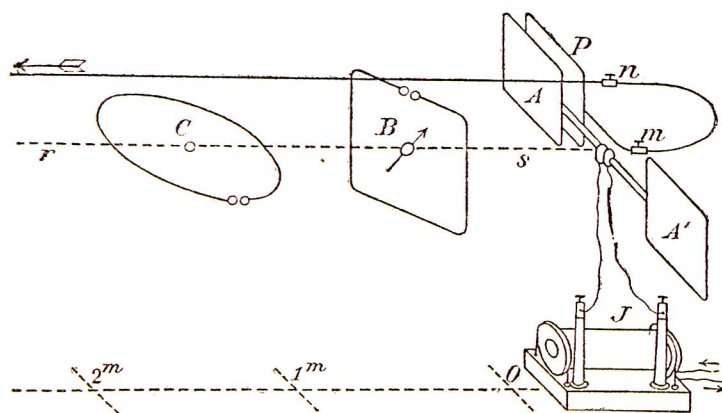


Fig. 25.

L. DE SEIVA - TAPABOR

A LA LUEUR D'UNE ÉTINCELLE

soixante mètres. Il le fait sortir du laboratoire par une fenêtre, l'accroche aux arbres du jardin et lui fait finir sa course dans le sol. Toute réflexion des ondes est désormais éliminée et Hertz obtient des ondes « progressives », de la même fréquence et de la même longueur que ses ondes stationnaires.

Dans une certaine orientation, le résonateur se révèle particulièrement sensible à ces ondes progressives que Hertz peut ainsi traquer le long du fil. En revanche, une autre orientation est sensible uniquement à l'action directe, qui provient de l'oscillateur placé perpendiculairement au fil. Hertz arrive à détecter cette action jusqu'à environ 8 m de distance, toujours dans la direction du fil. En jouant entre les deux orientations de son résonateur, il peut observer si ces deux actions inductives, celle en provenance du fil proche et celle en provenance de l'oscillateur lointain, se renforcent ou se détruisent mutuellement en parvenant sur son détecteur (voir figure p. 58).

Cela permet à Hertz, qui a une connaissance préalable des ondes dans le fil, d'obtenir des informations sur la vitesse de propagation de l'action directe de l'oscillateur. Si, par exemple, cette propagation s'effectue de manière instantanée, les points de renforcement des deux actions le long du fil devront avoir, entre eux, une distance exactement égale à la longueur des ondes dans le fil. Si, par contre, la vitesse de l'action directe coïncide avec celle des ondes dans le fil, le renforcement devra être le même tout au long du fil.

Pendant un mois et demi, ses expériences semblent indiquer une vitesse infinie pour l'action directe, ce qui exclut toute hypothèse d'ondes se propageant dans l'air. C'est seulement le 23 décembre 1887, dans l'après-midi, que, comme un « beau cadeau à la veille de la nuit de Noël », Hertz recueille des premiers indices du fait que l'action directe ne se propage pas instantanément, mais à vitesse finie. Il

le confirme seulement pour la composante électrodynamique de l'action directe (celle qui induit des courants). De fait, la composante électrostatique (celle qui induit des charges et domine à courtes distances) pourrait bien se propager à vitesse infinie...

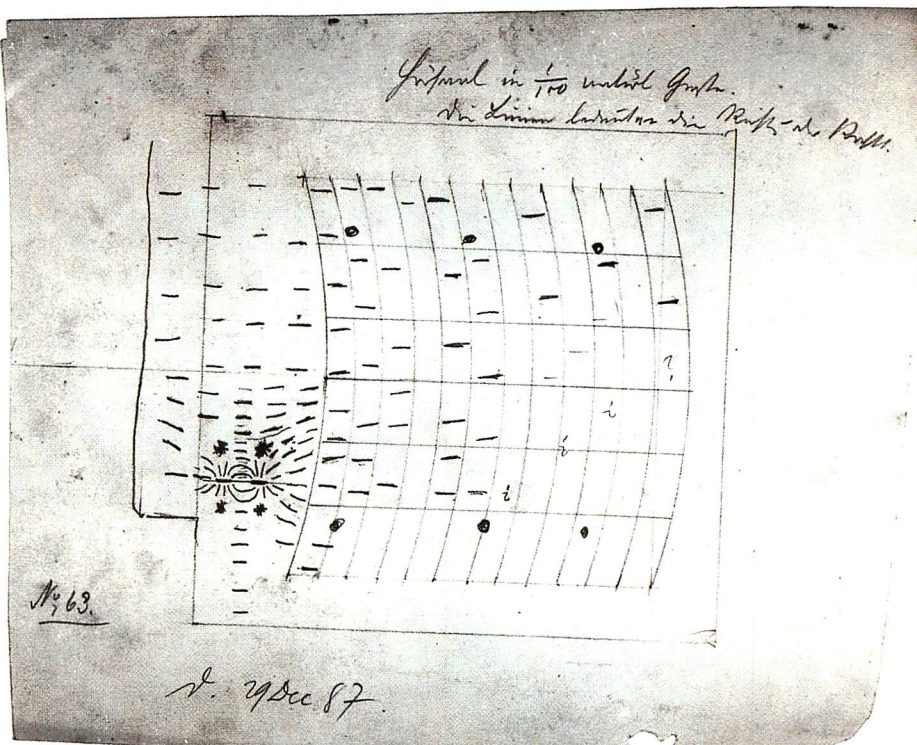
Une propagation à **vitesse finie** de l'action inductive dans l'air évoque facilement l'image d'une onde. Elle se déplacerait parallèlement à celles qui, Hertz l'a mis en évidence, courent dans le fil. Quatre jours plus tard, dans ses *notes de laboratoire* en date du 27 décembre, Hertz invente les termes « d'ondes inductives » ou « d'ondes aériennes ». Ces qualificatifs désignent ce qu'on appelle aujourd'hui les « ondes hertziennes ».

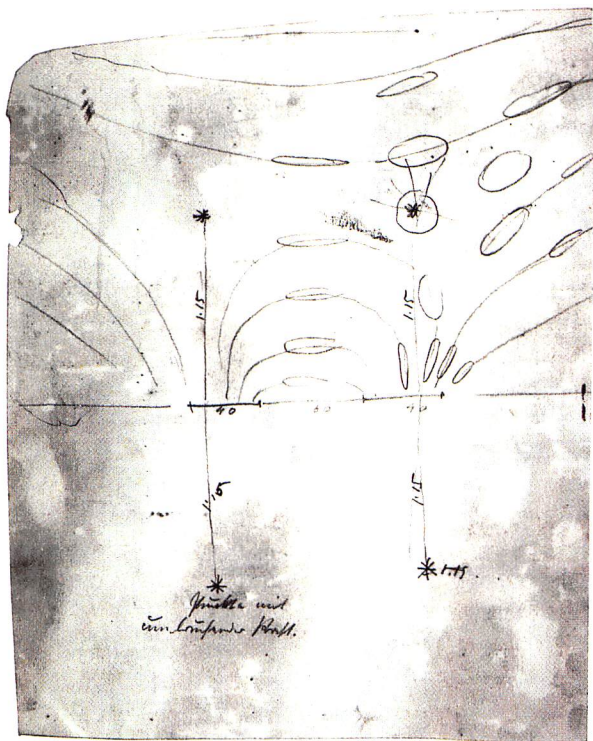
Deux jours plus tard, le 29 décembre, Hertz note sa surprise devant le fait que cette action inductive semble être arrêtée par des écrans métalliques et

paraisse être réfléchiée à leur surface. Le même jour, il décide en outre d'observer son comportement ailleurs que sur l'axe parallèle au conducteur, auquel il s'était tenu jusqu'à présent. Faisant tourner son résonateur sur un axe vertical, il examine la variation d'intensité des étincelles. Il parvient alors à déterminer la direction moyenne du champ électrique en un certain nombre de points situés dans le plan horizontal de l'oscillateur « *sur toute l'étendue de la salle* ». Il en tire une sorte de figure ondulatoire statique, faite de lignes qui jaillissent de son oscillateur (ci-dessous). Ce dessin traduit le phénomène statique qui, dans son imagination, est doté d'un certain dynamisme de propagation du champ électrique.

A la fin des vacances de Noël, Hertz dispose donc d'un ensemble d'**indices expérimentaux à l'appui de sa conjecture : le caractère ondulatoire de l'action inductive électrodynamique**. Cependant, le premier compte-rendu de son expérience sur la vitesse finie, envoyé le 21 janvier à Helmholtz et

Le 29 décembre 1887, Hertz dessine la direction du champ électrique sur un plan qui traverse la salle de conférence : elle reste indéterminée en 4 points (astérisques sur le schéma).





ARCHIVES DE L'UNIVERSITÉ DE KARLSRUHE

Hertz dessine un agrandissement de la figure précédente : autour de son oscillateur, les lignes de champ s'organisent. Mais que se passe-t-il autour des points figurés par les astérisques ?

logie » diffère des comptes-rendus publiés précédemment par l'Académie. Outre l'ajout d'un article introductif, on constate que les deux autres textes s'achèvent sur des conclusions remaniées. C'est dans ces ajouts que Hertz fait, à plusieurs reprises, allusion à l'hypothèse ondulatoire. Néanmoins, il n'en

clairs et nombreux, et je crois que la nature ondulatoire du son dans l'espace libre ne saute pas aussi clairement aux yeux que celle de cette propagation électrodynamique. »

Comparons cette lettre à celle, envoyée trois mois plus tôt, dans laquelle Hertz informait Helmholtz de la découverte des ondes stationnaires dans les fils conducteurs. Selon sa métaphore acoustique, ces ondes (ou courants alternatifs à très hautes fréquences) étaient, disait Hertz, aussi observables que la vibration d'une corde de violon. Il n'en était alors qu'à l'orée de ses « nouvelles perspectives expérimentales ». Trois mois plus tard, il parle d'ondes électrodynamiques dans l'air (nos ondes hertziennes). Elles lui apparaissent aussi évidentes que les ondes sonores et constituent l'aboutissement de ses perspectives « à une échelle tout à fait nouvelle ». Pourquoi ?

Les courants ondulatoires dans des conducteurs et leur action à distance peuvent parfaitement se comprendre dans le cadre d'une théorie électrodynamique. Mais la propagation d'ondes électrodynamiques dans l'air, elle, ne s'explique que dans le cadre de la théorie des champs. Face aux phénomènes électromagnétiques, l'électrodynamicien ressemble à un sourd qui doit palper (à distance !) les cordes du violon pour en sentir la vibration. En poursuivant l'analogie, la perception des sons dans l'espace est clairement du ressort d'un théoricien des champs. Quitter l'univers mental d'un électrodynamicien pour entrer dans celui d'un théoricien des champs suppose un changement conceptuel majeur. Hertz l'accomplit pendant les trois mois qui séparent Noël 1887 de Pâques 1888. De nombreux autres physiciens continentaux devront bientôt suivre son exemple. Telle est la signification profonde de cette expérience historique.

Son caractère épique, que nous avons mis en scène en ouverture de

publié à l'Académie, ne fait aucune allusion à cette conjecture.

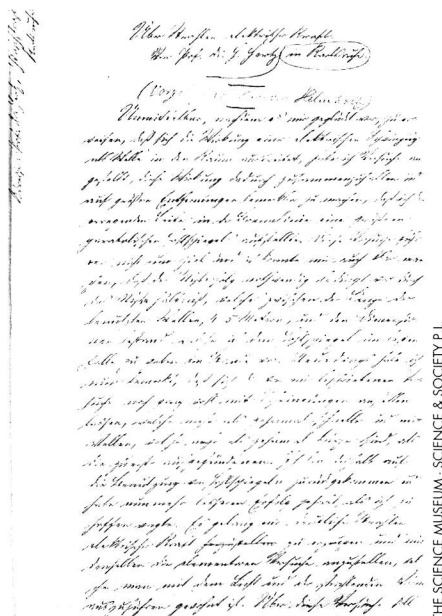
Le 17 février, il fait parvenir à la revue des *Annalen Wiedemann* une série de trois articles. Il y présente les résultats de ses expériences : celles portant sur les courants dans les corps isolants et celles concernant la vitesse finie de l'action d'induction. Cette « tri-

avait encore aucune preuve claire et directe. On comprend qu'il eût en préparation une expérience centrée sur la détection d'ondes stationnaires dans l'air : son expérience historique.

RETOUR À L'EXPÉRIENCE HISTORIQUE DE MARS 1888

Quelques jours seulement après l'expérience décrite en ouverture de cet article, Hertz écrit à son maître Helmholtz. Faisant preuve d'une assurance toute scientifique, il affirme que «...les ondes électrodynamiques dans l'air se réfléchissent sur les parois conductrices et, à angle d'incidence nul, les ondes réfléchies interfèrent avec les ondes incidentes et génèrent des ondes stationnaires dans l'air. Sur les premières longueurs d'ondes comptées à partir de la paroi, les indices sont très

En envoyant son manuscrit aux *Annalen Wiedemann*, Hertz soupire : « C'est satisfaisant de voir que je n'ai plus à prier anxieusement que mon travail soit publié. »



THE SCIENCE MUSEUM - SCIENCE & SOCIETY P.L.

cet article, est dû à un « détail » : Hertz ne disposait que d'ondes de neuf mètres de longueur avec lesquelles il est extrêmement difficile de travailler. Mais son idée était simple : s'il avait vraiment affaire à des ondes, leur réflexion normale dans un miroir devrait aboutir à la production « d'ondes stationnaires dans l'air ». En clair, elles devraient présenter des nœuds et des ventres. Mais l'apparition d'un minimum de deux nœuds, à partir de celui formé dans le miroir, imposait la condition suivante : les deux rayons incidents et réfléchis devaient pouvoir se superposer sur une longueur d'au moins dix mètres, dans un espace libre de tout obstacle, en particulier métallique. A Noël, Hertz avait par ailleurs constaté que son oscillateur rayonnait dans toutes les

mètres était trop difficile et il dut y renoncer.

Faute de pouvoir réduire la longueur de ses ondes, Hertz n'avait eu d'autre choix que d'utiliser le plus grand espace disponible : la travée centrale de la salle de conférence, longue de 15 mètres, haute de 6 mètres et large de 8,5 mètres entre ses deux rangées de colonnes. Hertz avait observé que chacune de ces rangées, bien que formée de seulement trois colonnes métalliques, « se comportait dans son ensemble comme une cloison solide d'un point de vue électrodynamique ». Cette travée devait toutefois être libre de tout obstacle et, en particulier, des suspensions et tuyaux qui constituaient le système d'éclairage au gaz. Quant au choix d'installer sa « passerelle » à mi-hauteur, il avait pour but

posée sur un échafaudage de bois et attachée à la tuyauterie de gaz par des fils métalliques, avait pour fonction d'améliorer la réflexion des ondes. Rapportée à la longueur de ces dernières (10 m), elle était extrêmement petite, ce qui était sans doute compensé par le fait que l'ensemble (tuyauterie et plaque) faisait terre. L'oscillateur, disposé verticalement afin que la direction d'intensité maximale se situe dans un plan horizontal, était installé au bout de la passerelle, à environ 13 m du miroir et 2 m du mur. Produisant des éclats réguliers et puissants, sa lumière était masquée par un écran de bois pour éviter qu'elle ne perturbe le petit éclateur du résonateur.

En déplaçant le résonateur sur toute la longueur de la passerelle, Hertz réussit à localiser deux nœuds. Le premier, très net, se situe à environ 4 mètres du miroir. Le second, plus flou, vers les 9 mètres. Le nœud qui se forme à la hauteur du miroir lui-même est également flou : il semble s'enfoncer à quelques dizaines de centimètres dans le mur (voir figure ci-contre). Hertz n'en fut pas vraiment surpris : par suite de la très petite surface du miroir métallique, il était possible que les ondes pénétrèrent légèrement dans la pierre. C'est du moins ce que révèle le schéma qui accompagne son article. Les nœuds A et C, les ventres B et D des ondes électrodynamiques dans l'air y sont représentés ainsi que les positions du résonateur qui en permirent la détection. Sur cette figure, Hertz a représenté également, pour la première fois, la variation du champ magnétique à l'aide de lignes pointillées qui signalent la position de deux nœuds (B, D) et d'un ventre (C) dans ces ondes magnétiques. Cela signifie qu'il commence véritablement à penser au **champ électromagnétique**. Car il connaît bien l'orientation, perpendiculaire au champ magnétique, qu'il doit donner à son résonateur pour que les étincelles dévoilent les brusques variations de flux

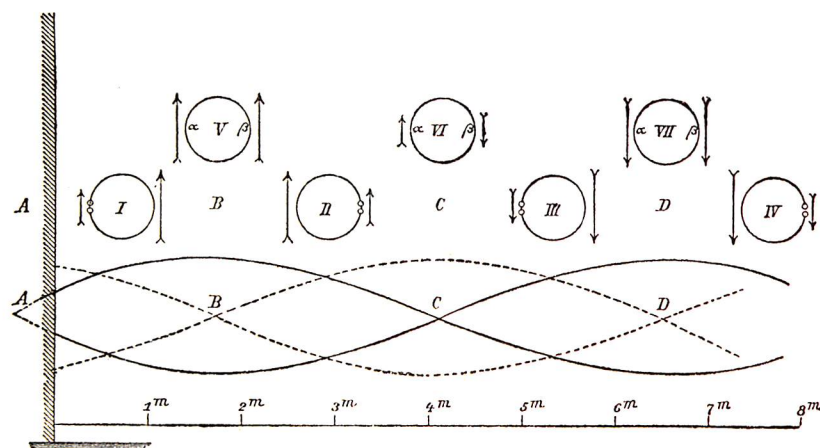


Fig. 26.

L. DE SELVA - TAPABOR

Sur ce schéma original de Hertz, l'oscillateur a disparu. Le résonateur est figuré dans ses diverses positions, près du "miroir", là où les "ondes stationnaires dans l'air" sont détectées.

directions. Il avait également remarqué que le rayonnement le plus intense était situé dans le plan perpendiculaire à l'axe de l'oscillateur et passant par l'éclateur. Dans un premier temps, Hertz songea à concentrer ces rayons plus intenses à l'aide d'un déflecteur parabolique. Mais la construction d'un système efficace pour des ondes de 10

d'éviter au maximum les réflexions parasites des ondes électriques sur le sol ou le plafond. Elles traversent en effet très facilement l'empilement de tables et de pupitres de bois. Le seul obstacle à leur propagation était le corps de l'observateur. Pour esquiver le faisceau d'ondes, il lui fallait donc se mettre en biais, ce qui, sur cette passerelle étroite et plongée dans l'obscurité, n'était pas des plus pratiques...

Comme miroir, Hertz avait résolu d'utiliser le mur de pierre gréseuse et très dure du fond de la salle. La plaque de zinc de quatre mètres sur deux,

L'histoire de la Science comme

Collection 1991

N°1 - NAISSANCE DE L'AVIATION

Farman ou les Wright, qui a inventé l'avion ?

N°2 - GALILEE

La naissance de la physique moderne.

N°3 - LA DERIVE

DES CONTINENTS (épuisé)

Wegener, l'homme d'une géniale découverte.

N°4 - PASTEUR

Tumultueuse naissance de la biologie moderne.

N°5 - FRESNEL (épuisé)

Quelle est la vraie nature de la lumière ?

N°6 - DARWIN ou LAMARCK

La querelle de l'évolution.

Collection 1993

N°13 - NEWTON

Le concepteur de la science moderne.

N°14 - LAVOISIER

Le père de la chimie moderne.

N°15 - MENDEL

Le fondateur de la génétique.

N°16 - EINSTEIN

Pour enfin comprendre la Relativité.

N°17 - MAXWELL

Qu'y a-t-il de commun entre lumière, électricité, et magnétisme.

N°18 - ARCHIMÈDE

Un savant exemplaire.

Collection 1992

N°7 - LE PROJET MANHATTAN

Construction de la première bombe atomique.

N°8 - LA RADIO-ASTRONOMIE

Une nouvelle fenêtre sur le ciel.

N°9 - LA NAISSANCE

DU CONCORDE

Un exemple de coopération internationale.

N°10 - LA PILULE CONTRACEPTIVE

De la "Big Science" chimique et médicale.

N°11 - De SPOUTNIK à GAGARINE

L'espace comme champ de bataille de la guerre froide.

N°12 - LA PHYSIQUE GEANTE

Du gigantesque pour observer l'infiniment petit.

Collection 1994

N°19 - AMBROISE PARÉ

Le premier chirurgien des temps modernes.

N°20 - CARNOT

Le premier à établir le lien entre chaleur et travail.

N°21 - KEPLER

Le fondateur de l'astronomie moderne.

N°22 - FREUD

Comment fut découverte la psychanalyse.

N°23 - BUFFON

Le père de l'Histoire Naturelle.

N°24 - MARIE CURIE

Une grande dame de la physique.

on ne vous l'a jamais racontée.

Collection 1995

N°25 - LA MESURE DE LA VITESSE DE LA LUMIÈRE
Fizeau et Foucault

N°26 - LA MESURE DE LA FORCE ÉLECTRIQUE
Coulomb

N°27 - LA MESURE DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE
Pascal et Perier

N°28 - L'EXPÉRIENCE SUR LA FOUDRE
Franklin

N°29 - L'ÉQUIVALENCE CHALEUR / TRAVAIL
Joule

N°30 - LA DÉMONSTRATION DE L'EXISTENCE DES ONDES RADIO
Hertz

Collection Physique

N°2 - GALILEE

La naissance de la physique moderne.

N°5 - FRESNEL (épuisé)

Quelle est la vraie nature de la lumière ?

N°7 - LE PROJET MANHATTAN
Construction de la première bombe atomique.

N°8 - LA RADIO-ASTRONOMIE
Une nouvelle fenêtre sur le ciel.

N°12 - LA PHYSIQUE GEANTE
Du gigantesque pour observer l'infinitement petit.

N°13 - NEWTON

Le concepteur de la science moderne.

N°16 - EINSTEIN

Pour enfin comprendre la Relativité.

N°17 - MAXWELL
ou les champs de la lumière.

N°20 - CARNOT
Le père de la thermodynamique

N°21 - KEPLER
Le père de l'astronomie moderne.

PHOTOS ROGER-VIOLETTE

PHOTOS ROGER-VIOLETTE

TOUS DROITS RESERVES

LES CAHIERS DE SCIENCE & VIE

DES HISTOIRES RICHES EN DECOUVERTES

BON DE COMMANDE

à compléter et à renvoyer avec votre règlement libellé à l'ordre des **CAHIERS DE SCIENCE & VIE**, sous enveloppe affranchie à : **CAHIERS DE SCIENCE & VIE Service VPC - 1, rue du Colonel Pierre Avia - 75503 Paris cedex 15**

NOM _____ Prénom _____
ADRESSE _____
CODE POSTAL _____ VILLE _____

OUI, JE COMMANDE :

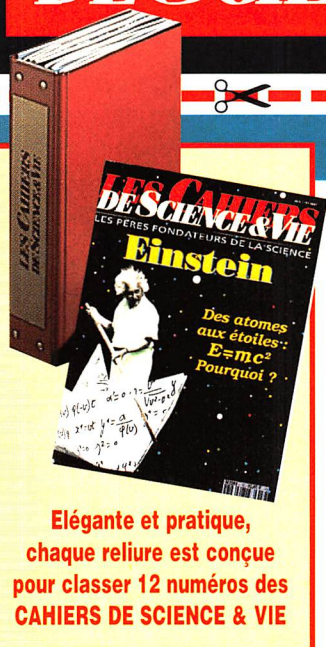
Cochez les cases de votre choix

- ☐ LA COLLECTION 1991 des CAHIERS DE SCIENCE & VIE (n° 1, 2, 4 et 6) au tarif de 107 francs les 4 fascicules au lieu de 128 francs (*)
- ☐ LA COLLECTION 1992 des CAHIERS DE SCIENCE & VIE (n° 7 à 12) au tarif de 160 francs les 6 fascicules au lieu de 192 francs (*)
- ☐ LA COLLECTION 1993 des CAHIERS DE SCIENCE & VIE (n° 13 à 18) au tarif de 160 francs les 6 fascicules au lieu de 192 francs (*)
- ☐ LA COLLECTION 1994 des CAHIERS DE SCIENCE & VIE (n° 19 à 24) au tarif de 160 francs les 6 fascicules au lieu de 192 francs (*)
- ☐ LA COLLECTION 1995 des CAHIERS DE SCIENCE & VIE (n° 25 à 30) au tarif de 160 francs les 6 fascicules au lieu de 192 francs (*)
- ☐ LA COLLECTION PHYSIQUE des CAHIERS DE SCIENCE & VIE (9 fascicules) au tarif de 240 francs les 9 fascicules au lieu de 288 francs (*)
- ☐ JE COMMANDE reliure(s) des CAHIERS DE SCIENCE & VIE au tarif unitaire de 65 francs (Etranger : 75 francs français)

Le montant total de ma commande s'élève à francs français

Offres valables jusqu'à fin 1995

RCS Paris B 572 134 773



Élégante et pratique, chaque reliure est conçue pour classer 12 numéros des CAHIERS DE SCIENCE & VIE

Pour nos tarifs à l'étranger, veuillez nous contacter au (33-1)46 48 47 18
Délai d'expédition à prévoir : 3 à 4 semaines
(*) Prix de vente normal chez votre marchand de journaux

Conformément à la loi Informatique et Liberté du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données personnelles vous concernant. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'autres sociétés ou associations. Si vous ne le souhaitez pas, il vous suffit de nous écrire en nous indiquant vos nom, prénom, adresse et, si possible, votre référence client.

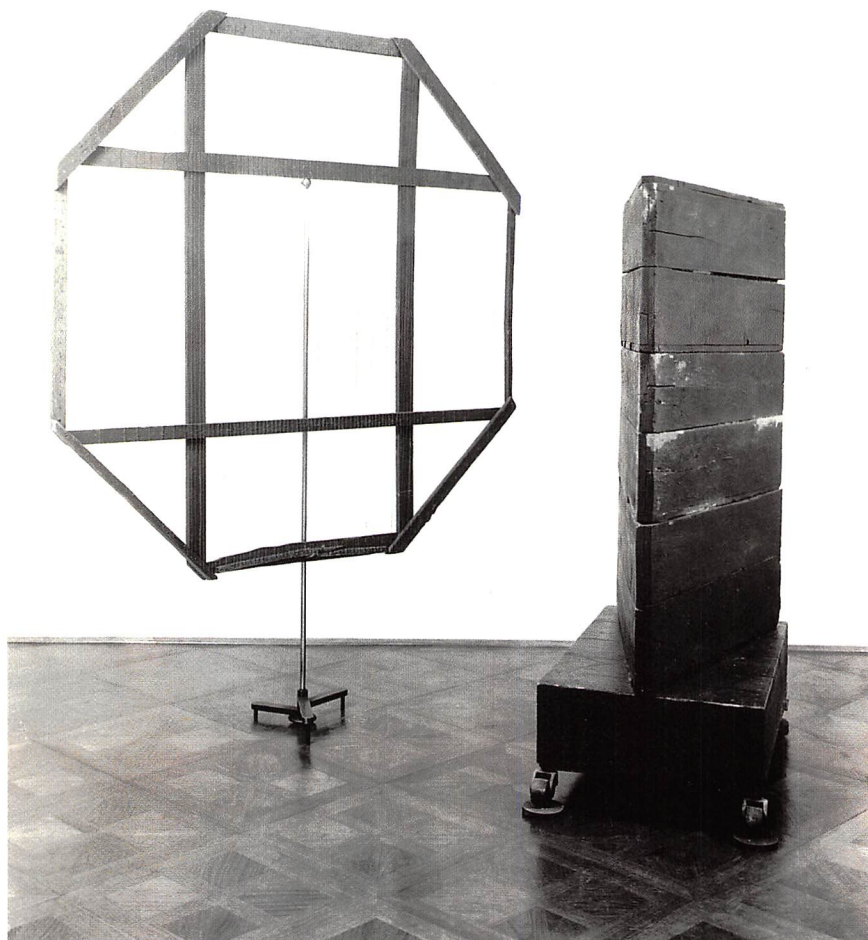


En produisant des ondes plus courtes, Hertz peut démontrer les propriétés optiques d'un « rayon de force électrique ». Ci-dessus, un miroir, cylindrique-parabolique, de fortune. Ci-contre, un réseau de fils et un prisme de bitume de quelque 600 kilos !

magnétique traversant son anneau.

Il ne fait aucun doute que cette expérience historique souffre d'un certain nombre d'imperfections techniques : irrégularité de la première onde sortant de l'oscillateur (pas encore bien formée durant la première période), absorption et réflexions parasites. Il en résulte des erreurs de mesure que, trois ans plus tard, lors d'une nouvelle édition de ses textes en décembre 1891, Hertz lui-même reconnaîtra. Mais il est aussi incontestable que Hertz apporte alors la preuve expérimentale du caractère ondulatoire de l'action électrodynamique. L'exploration des « perspectives expérimentales » mentionnées à Noël s'achève bel et bien sur des notions entièrement neuves.

Le 1^{er} avril, Hertz envoie son article aux *Annales Wiedemann*, celles-là même qui s'approprièrent à publier sa trilogie de février. Il ajoute un mot et insiste sur le fait que « *ce travail ne peut être publié qu'après les autres ; car il va beaucoup plus loin que les précédents* [les articles de la trilogie], et il n'y aurait aucun sens à les publier après celui-ci ».



Sans l'extrême habileté expérimentale d'un Hertz, cette expérience faite avec des ondes de neuf mètres n'aurait eu que bien peu de chances de réussir. Elle constitua donc un exploit, impossible à rééditer dans les conditions où elle avait été effectuée. Pour la rendre facilement reproductible, il fallait disposer d'ondes de longueur bien plus courte (ou de fréquence bien plus élevée). Hertz ne tarda pas à se pencher sur le problème.

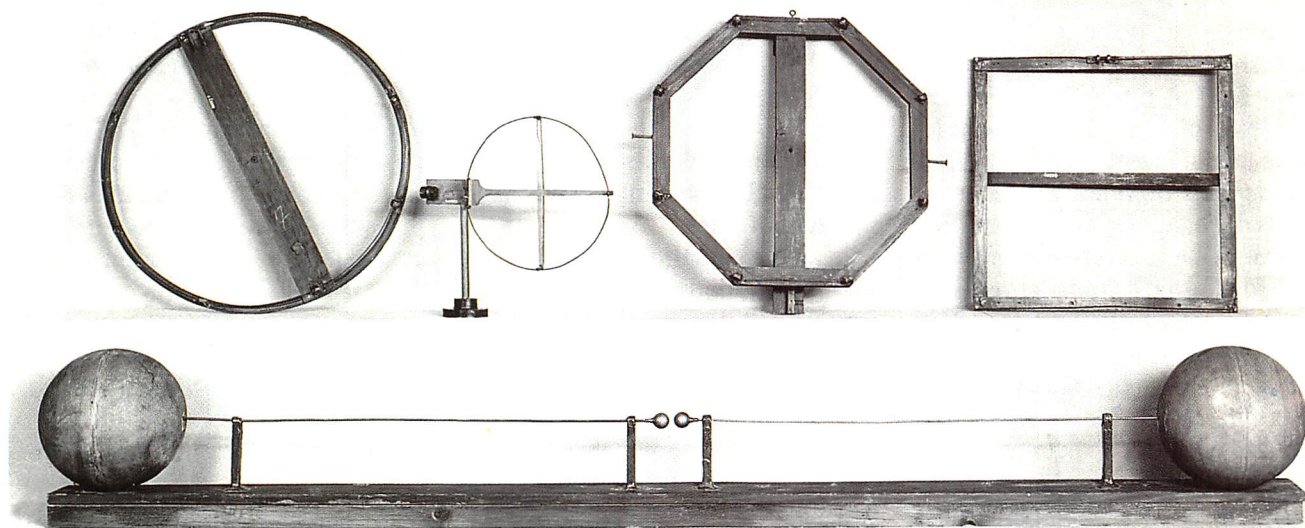
AUTOMNE 1888

Entre le 12 et le 15 novembre 1888, Hertz parvient à produire des ondes d'une longueur de l'ordre du décimètre. Voici ce qu'il en dit à Helmholtz le 30 novembre : «...Un hasard heureux m'a enseigné qu'il était non seulement

possible de produire des ondes de plusieurs mètres de longueur, mais qu'on pouvait travailler avec **des ondes encore plus courtes, qui permettent de gagner énormément en commodité**. Avec des ondes de 33 centimètres de demi-longueur se propageant dans l'air, j'ai pu confirmer mes résultats antérieurs, et même améliorer certains d'entre eux... »

Hertz réussit à produire ces ondes de 66 cm grâce à un oscillateur cylindrique plein, d'une trentaine de centimètres de long. Un oscillateur et un résonateur plus petits lui suffisent donc à lever les difficultés techniques de son expérience historique et, par là même, à la rendre reproductible. Il y ajoute des éléments qui la rendront plus instructive et plus convaincante.

A LA LUEUR D'UNE ÉTINCELLE



PHOTOS DEUTSCHES MUSEUM MÜNCHEN

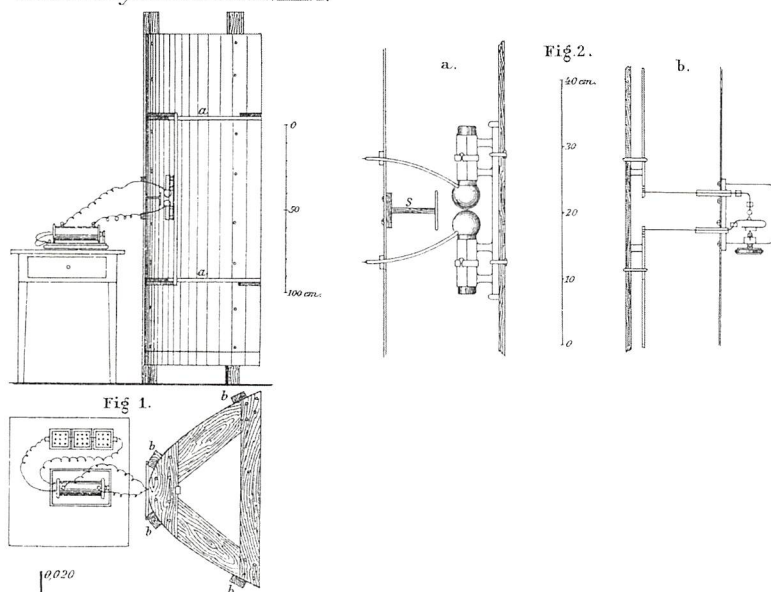
Entre le 20 et le 24 novembre, Hertz obtient ce qu'il appelle un « *rayon de force électrique* », c'est-à-dire des ondes électromagnétiques en forme de faisceau. L'emploi du mot *rayon* souligne évidemment la similitude que ces phénomènes entretiennent avec la lumière. Hertz produit ses *rayons* à l'aide d'un miroir cylindrique-parabolique : une simple plaque de zinc, de deux mètres sur deux, courbée et fixée sur deux cadres de bois paraboliques.

Il lui suffit de placer l'oscillateur sur la ligne focale de ce miroir parabolique pour que les ondes électromagnétiques se concentrent en un faisceau d'un peu plus d'un mètre de large. Hertz utilise un résonateur adapté, une baguette droite d'un mètre de longueur, placée, elle aussi, sur la ligne focale d'un miroir identique. Le micro-éclateur, disposé sur la partie extérieure du miroir, est donc plus facile à observer.

C'est avec ces instruments que Hertz étudie les **propriétés optiques** du « *rayon de force électrique* » : d'abord, sa propagation rectiligne et sa réflexion sur un miroir métallique ; puis sa polarisation, obtenue à l'aide d'un réseau de fils disposés parallèlement, à 3 cm de distance les uns des autres. Enfin, Hertz parvient à étudier la réfraction de ce faisceau. Pour cela, il fait fabriquer un énorme prisme de bitume, d'un mètre et demi de haut et pesant 600 kilos. Le prisme est prêt le 7 décembre et, à cause de son poids, l'expérience a lieu dans un laboratoire du rez-de chaussée.

Quatre jours plus tard, Hertz adresse à l'Académie de Berlin un compte-rendu de ces expériences. Lu devant l'assemblée le 13 décembre, il est immédiatement envoyé pour publication dans les *Comptes-rendus*. En janvier 1889, les *Annales Wiedemann* reçoivent le même texte, complété de schémas de montage du dispositif facilitant la reproduction de l'expérience (voir figure ci-contre).

Annalen d. Phys. u. Chem. N.F. Bd. XXXVI.



En publiant ses schémas dans les *Annales Wiedemann*, Hertz espère que ses expériences pourront être reproduites – et confirmées – dans tous les laboratoires.

La puissance de conviction de la démarche expérimentale de Hertz est indéniable. Car les « *faisceaux de force électrique* » offrent toutes les propriétés de la lumière et les expériences elles-mêmes obligent à penser en termes d'optique. Or, nul ne doute que la lumière a une existence indépendante de la source qui l'a produite, chandelle ou étoile peut-être déjà éteinte. Il semble alors certain que ces ondes électromagnétiques peuvent exister dans l'espace, indépendamment de l'oscillateur. Mieux encore, la similitude de ces « *rayons de force électrique* » avec ceux de la lumière est telle que « *dorénavant nous pourrions peut-être les nommer rayons de lumière de très grande longueur d'onde... et profiter des avantages qui découlent de la reconnaissance de cette identité, tant pour le domaine de l'optique que pour celui de l'électricité.* »

LA THÉORIE MAXWELLIENNE EST CONFIRMÉE

Quinze ans avant les expériences de Hertz, Maxwell avait publié à Cambridge son *Traité d'électricité et de magnétisme*. Il y présentait la théorie mathématique du champ électromagnétique et décrivait les rayons lumineux comme des oscillations périodiques de l'intensité du champ électrique E et du champ magnétique H , perpendiculaires entre eux et à la direction du rayon. Ce travail était cependant purement théorique. Dans son *Traité*, Maxwell n'indiquait aucun dispositif pour produire de telles oscillations et vérifier leurs propriétés optiques. Sur le strict plan des faits, ses théories demeuraient donc fragiles. Les électrodynamiciens héritiers d'Ampère, de Weber ou de Helmholtz pouvaient parfaitement les rejeter et décrire les phénomènes par des actions à distance entre charges et courants.

Dans ce contexte, les expériences de Hertz passent souvent pour avoir

fourni la preuve de la théorie de Maxwell. Historiquement, c'est un fait. Mais il serait faux de croire que Hertz ait été mû d'une telle intention, ou même qu'il se fût mis en quête des ondes électromagnétiques que Maxwell avait décrites.

En fait, **le cheminement de sa pensée** – tel que nous venons de le retracer – **ne doit rien au grand théoricien anglais**. L'idée même « *d'onde électromagnétique dans l'air* » n'est apparue qu'à son ultime étape. C'est ce que confirment les documents les plus récemment retrouvés, en particulier ses notes de laboratoire.

Résumons-nous. Formé à l'école électrodynamique de Helmholtz, Hertz s'est lancé dans cette aventure sur une seule idée : trouver la solution du vieux problème de l'action électrodynamique des courants dans les corps isolants. De là, il est passé à l'étude de la vitesse de propagation de « *l'action directe* » des oscillateurs. Durant un mois et demi, ses expériences l'ont conduit à penser que cette vitesse devait être infinie, ce qui, dit autrement, rendait impossible l'existence d'ondes. Et lorsqu'à Noël 1887, il parvint à démontrer que cette vitesse est finie, il ne le fait que pour l'action électrodynamique. Il reste alors convaincu que l'action électrostatique, elle, est bien instantanée. Rien de tout cela n'a de sens d'un point de vue maxwellien, comme Hertz le reconnaîtra lui-même plus tard.

En réalité, Hertz ne commence à accepter la vision maxwellienne qu'après avoir effectué son expérience historique. Il est alors entièrement persuadé de l'existence de ces ondes, dont, peu de temps auparavant, il ne pouvait même pas imaginer les effets de réflexion et de masquage.

Entre avril et octobre 1888, il rédige un très bel article théorique. Partant des équations de champ, telles qu'elles figurent dans le *Traité* de Maxwell, il les réécrit de manière plus symétrique et plus simple. Il obtient, par le calcul, la

configuration et la variation du champ électromagnétique autour de son oscillateur. Le résultat de ses calculs est une expression simple, qui lui permet de dessiner les lignes de force électrique du champ tout au long d'une période d'oscillation (de l'ordre du centième de microseconde). La suite de dessins qu'il réalise avec l'aide de sa femme illustre bien cette évolution. Par ailleurs, elle lui fait comprendre divers aspects importants de ses expériences antérieures.

Avec cet article théorique et la publication du compte-rendu de ses expériences reproductibles, Hertz acquerra en Grande-Bretagne le statut d'un maxwellien de premier plan. Mais, déjà à l'automne 1888, dans la patrie de Maxwell, il était le seul à avoir résolu une question laissée sans réponse par le maître. Si l'on en juge du moins par les mots que George FitzGerald prononce le 6 septembre 1888, pour l'ouverture du Congrès de la *British Association*, à Bath. Ces mots représentent sans aucun doute les premiers échos de l'expérience historique de Hertz : « *...Le grand Clerk Maxwell, lors d'un discours présidentiel sur les limites de notre connaissance prononcé à cette même tribune, a évoqué une question qui restait sans réponse : celle de savoir si les phénomènes électromagnétiques sont attribuables à une action directe à distance, ou bien à celle d'un milieu intermédiaire. L'année 1888 restera toujours dans les mémoires comme celle où la réponse à cette grande question a été tranchée expérimentalement par Hertz en Allemagne et, je l'espère, par d'autres en Angleterre.* »

Grâce aux travaux de Hertz et de certains physiciens contemporains, la victoire de la théorie maxwellienne sur les précédentes nous impose une nouvelle façon de voir le monde. De la conception mécaniciste du XIX^e siècle, nous passons à une représentation beaucoup plus éthérée et intangible, caractéristique de la théorie des champs. ■

DESTINS



En Grande-Bretagne, l'annonce des résultats de Hertz provoque la surprise enthousiaste des physiciens. **E**n France et en Suisse, les réactions sont plus mitigées : Hertz n'a-t-il pas publié trop vite ? **A**près qu'on a décelé une erreur dans l'un de ses calculs, certains expérimentateurs soumettent son expérience à la dure loi de la réplique. **P**eu après sa mort, les éléments de son dispositif expérimental s'échappent enfin hors des murs du laboratoire et des milliers d'amateurs s'emparent de la jeune TSF. **H**ertz n'en avait même pas rêvé...

FORMATION D'UN QUATUOR

En septembre 1888, les physiciens britanniques écoutent le président de leur congrès annuel, G.F. Fitz-Gerald, annoncer que la vérification de la théorie de Maxwell n'est pas issue de leurs rangs : elle vient d'Allemagne ! Cette irruption de Hertz sur la scène fait surgir de l'ombre un physicien anglais marginal, Oliver Heaviside. Seul un professeur de Liverpool, Oliver Lodge, s'était jusqu'alors publiquement intéressé à ses travaux. Cette annonce spectaculaire joue un rôle catalyseur et, bientôt, une fructueuse correspondance s'échange entre ces quatre hommes : les maxwelliens.

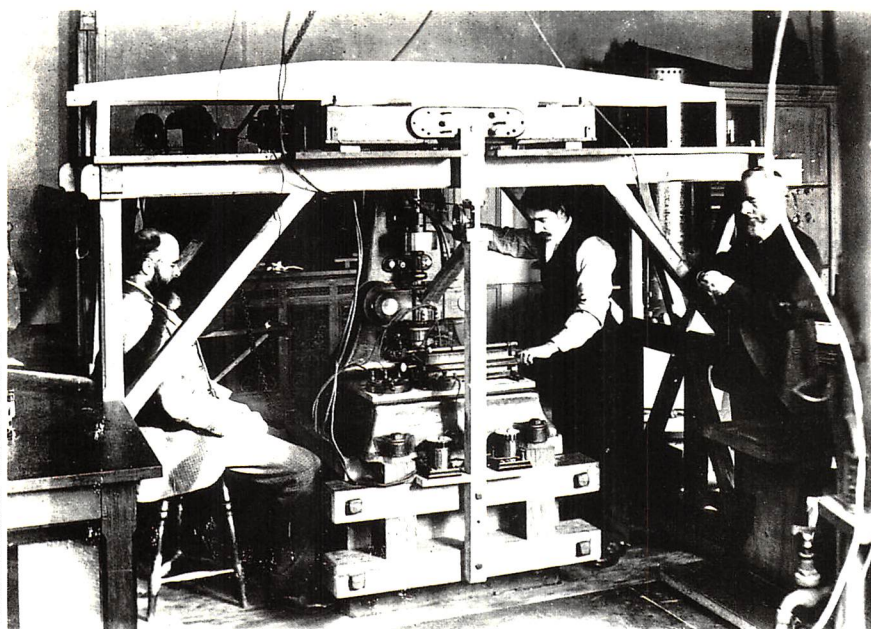
PAR GÉRARD CHEVALIER

Le 10 juin 1888, à Karlsruhe, le professeur Hertz découvre dans son courrier une lettre en provenance d'Irlande. Son signataire, le physicien George Francis FitzGerald, a manifestement trempé sa plume dans l'encrier à compliments : « *Serait-ce trop vous demander de m'envoyer une copie de votre papier décrivant comment vous avez vérifié la théorie de Maxwell ? Je considère qu'il n'y a pas eu d'expérience plus importante au cours de ce siècle. Elle se situe à peu près sur le même plan que l'expérience cruciale de Foucault ⁽¹⁾ tranchant entre la théorie ondulatoire et la théorie de l'émission de la lumière.* »

Le lendemain, Hertz répond à cet enthousiasme par un mouvement de recul : « *Je crains que vous ne supposiez davantage qu'en réalité ce n'est le cas, et que vous soyez déçu. Car, en premier lieu, on ne peut pas encore parler de mesures au sens strict ou de comparaisons exactes et, deuxièmement, les expériences sont un peu compliquées et ne sont pas aussi simples qu'on l'attendrait d'une expérience cruciale.* » L'optimisme est néanmoins de mise : « *Je pense également que ces expériences ne constituent pas un but définitif, qu'elles représentent plutôt un commencement et une introduction à de meilleures expériences ; en fait, j'ai entre-temps réussi à produire des ondes dans l'air et à mesurer leur longueur d'onde, ainsi il n'y a véritablement plus aucun doute sur le fait que la propagation d'un point à un autre s'effectue à vitesse finie.* » Enfin, Hertz est conscient qu'il s'adresse à l'un des meilleurs connaisseurs de l'œuvre de Maxwell : « *Je n'ai également aucun doute que les vues de Faraday et Maxwell finiront par triompher,* » affirme-t-il.

Pendant ce temps-là, à Liverpool, Oliver Lodge, un ami de longue date de FitzGerald – ils se sont rencontrés en 1878 –, met la dernière main à un

1 – Cf. le numéro 25 des Cahiers de Science & Vie.



article qu'il s'apprête à envoyer au *Philosophical Magazine*. Professeur à l'*University College*,

Lodge travaille depuis plusieurs mois, dans son laboratoire, sur des expériences concernant la décharge de condensateurs dans un circuit (voir figure). Ces recherches avaient été initiées quelques mois plus tôt par une « commande ». Ayant accepté de donner, au mois de mars, une série de conférences sur les systèmes de protection contre la foudre, Lodge s'était essayé à la simulation du phénomène en laboratoire : de puissantes bouteilles de Leyde y délivraient des étincelles censées agir comme les éclairs de l'atmosphère ⁽²⁾. Chemin faisant, Lodge avait été amené à s'intéresser à la nature oscillatoire de ces étincelles, puis à la propagation des décharges dans des fils conducteurs. Les difficultés pratiques l'avaient alors incité à se replonger dans la théorie.

Adeptes de Maxwell – il avait acheté un exemplaire de son *Traité* en 1873, l'année de sa publication –, Lodge avait souvent discuté avec FitzGerald des implications de la théorie électromagnétique du physicien écossais (mort en 1879). Mais, en ce début d'année

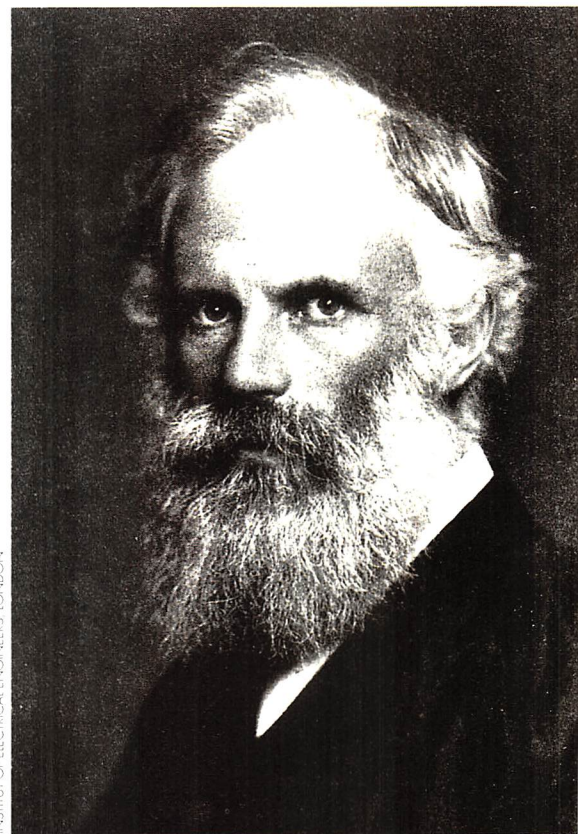
Dans son laboratoire de Liverpool, Lodge tente d'appliquer expérimentalement la théorie de Maxwell. A Dublin, son ami FitzGerald sait déjà que ces recherches sont dépassées...

ancien – et jusqu'alors obscur – employé des télégraphes, Oliver Heaviside. Une nouvelle manière de « lire » Maxwell s'y trouvait déployée et, au cours de l'une de ses conférences, Lodge avait fait part de cette lecture en ces termes : « *Quelle connaissance intime autant que singulière des complexités d'un tel sujet, et quelle maîtrise d'une théorie des plus difficiles se trouvent dans les écrits excentriques, quoique parfois repoussants, de Mr. Oliver Heaviside* » !

L'excentricité de Heaviside ne se manifeste pas seulement dans ses écrits. Né en 1850, neveu de Charles Wheatstone, l'inventeur du télégraphe, Heaviside vit chez ses parents en marge de la société. Depuis plusieurs années, il consacrait

1888, il avait surtout lu dans le *Philosophical Magazine* une série d'articles publiés par un

Au printemps 1888, Lodge imagine une expérience pour « déterminer la longueur d'onde d'un circuit de décharge » : elle met en scène une bouteille de Leyde et deux longs fils connectés sur un intervalle d'étincelle. Lodge espère ainsi produire des ondes stationnaires en jouant sur la longueur des fils et la période d'oscillation de son circuit.

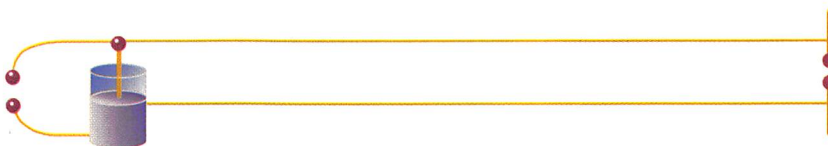


INSTITUT OF ELECTRICAL ENGINEERS, LONDON

cre toute son énergie à un travail en solitaire sur l'œuvre de Maxwell, auquel il voue une admiration sans bornes : « *L'âme immortelle de John Ploughman* [l'équivalent anglais de Jean Dupont] *de Buckinghamshire est une petite affaire, à peine visible. Celle d'un Shakespeare ou d'un Newton est*

prodigieuse. De tels hommes vivent la meilleure partie de leur vie après avoir abandonné leur enveloppe mortelle et être enterré dans leur tombe. Maxwell était l'un de

2 – On a découvert plus tard que la ressemblance entre les spectaculaires décharges produites de cette manière et les véritables éclairs était plus apparente que réelle...



FORMATION D'UN QUATUOR



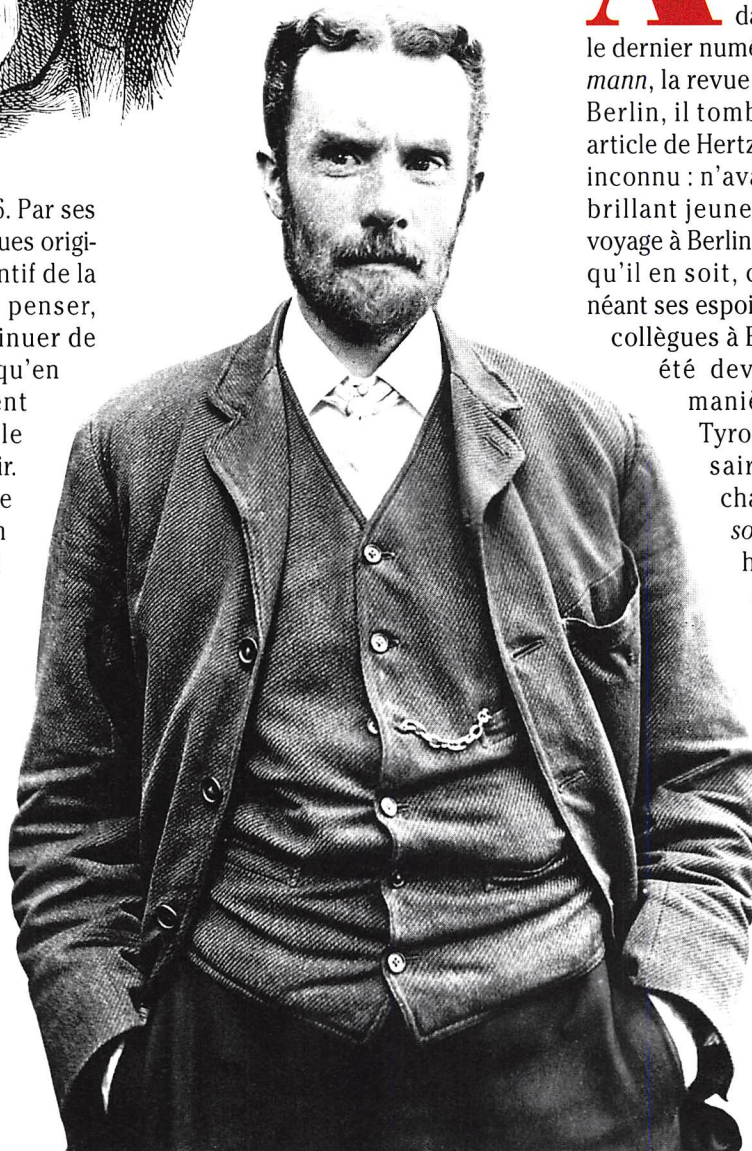
lieu dans le circuit A [...] Ces oscillations perturbent le milieu environnant et envoient des radiations, de nature précisément équivalente à la lumière, dont on peut obtenir la longueur d'onde en multipliant la période par la vitesse de propagation. » Soulignons qu'à ce stade, Lodge ignore tout des expériences en cours à Karlsruhe. Lodge poursuit plus loin en détaillant une future méthode expérimentale : « La période propre d'oscillation dans les fils s'accordera alors avec la période d'oscillation du circuit

ceux-là », avait-il écrit en 1886. Par ses développements mathématiques originaux, par un nettoyage attentif de la théorie de son maître à penser, Heaviside s'obstine à continuer de « faire vivre » Maxwell. Jusqu'en 1888, ses écrits ne suscitent aucun écho et sa solitude le mène aux confins du désespoir. Lorsqu'il prend connaissance des propos de Lodge à son égard, il se sent revivre et lui écrit : « J'ai considéré le compte-rendu de votre conférence comme un signe particulier de la Providence. »

Revenons à Lodge. En s'appuyant sur le travail théorique de Heaviside, il rend compte de son dispositif : « La théorie de cet effet semble indiquer que des oscillations ont

de décharge et les deux vibreront à l'unisson. [...] Nous avons donc ici un moyen de déterminer expérimentalement la longueur d'onde d'un circuit de décharge donné. » En expédiant son article à Londres, Lodge ajoute ceci : « J'espère pouvoir communiquer quelques résultats numériques d'observations faites de cette manière lors de la réunion de la British Association à Bath. » Nul doute qu'il est alors persuadé d'y faire sensation...

A la mi-juillet, Lodge s'accorde quelques vacances. Il séjourne dans le Tyrol et, en lisant le dernier numéro des *Annales Wiedemann*, la revue de physique publiée à Berlin, il tombe en arrêt devant un article de Hertz. Ce nom ne lui est pas inconnu : n'avait-il pas rencontré ce brillant jeune physicien, lors d'un voyage à Berlin en 1881 ou 1882 ? Quoi qu'il en soit, cette lecture réduit à néant ses espoirs d'impressionner ses collègues à Bath. Il est clair qu'il a été devancé – et de quelle manière ! – par Hertz. Du Tyrol, Lodge estime nécessaire d'expédier sur le champ une note au *Philosophical Magazine*. Il souhaite qu'elle soit ajoutée à son article : « Depuis que j'ai écrit le texte ci-dessus, j'ai lu un article du D^r Hertz dans lequel il établit l'existence d'ondes – et mesure leur longueur – dans l'éther excité par les décharges d'une bobine, en les convertissant en ondes stationnaires [...] Tout le sujet du rayonnement électrique semble être développé magnifiquement. »



Wheatstone, créateur du télégraphe (ci-dessus), a procuré à son neveu, Oliver Heaviside, pauvre et sans formation, un premier emploi dans l'industrie télégraphique.

FORMATION D'UN QUATUOR

Quelques semaines plus tard, Lodge et FitzGerald se retrouvent parmi les deux mille participants du congrès annuel de la *British Association*. Le phonographe d'Edison constitue l'attraction principale : « Des centaines de personnes se pressent pour voir et entendre les merveilleux petits cylindres », écrit *Nature*. On s'apprête également à suivre avec attention les débats de la section A (mathématiques et physique). Son président, Arthur Schuster, est inopinément tombé malade. Son remplaçant n'est autre que... G.F. FitzGerald. Le 6 septembre, dans son discours d'ouverture, il profite de sa tribune pour annoncer les « splendides résultats » de Hertz. Les jours suivants, le débat se focalise donc autour de la théorie électromagnétique, « qui n'est plus une hypothèse ». L'influent William Thomson, qui s'apprêtait à porter le fer dans la théorie de Maxwell, change promptement d'opinion. *Nature* remarque que Thomson, en admettant « qu'après tout, Clerk Maxwell n'avait

pas complètement tort » a produit « un certain amusement » parmi les participants. De son côté, le *Times* estime que l'apparent changement d'opinion de Thomson est « d'une grande importance pour tous ceux qui s'intéressent à la théorie électromagnétique. » ⁽³⁾

Bientôt, la discussion se résume à une question : le potentiel électrostatique ψ , l'une des grandeurs fondamentales de la théorie développée par Maxwell, a-t-il encore sa place dans les équations de propagation des ondes électromagnétiques ? Pendant l'interruption dominicale, chacun se replonge dans ses notes pour fourbir ses arguments. FitzGerald se souvient des articles d'Heaviside qui, depuis plusieurs années, a délibérément abandonné les concepts de potentiels pour réécrire, à sa manière, les équations de propagation du *Traité* de Maxwell. Lors de la reprise des débats, FitzGerald explique donc à ses collègues que « la plupart de

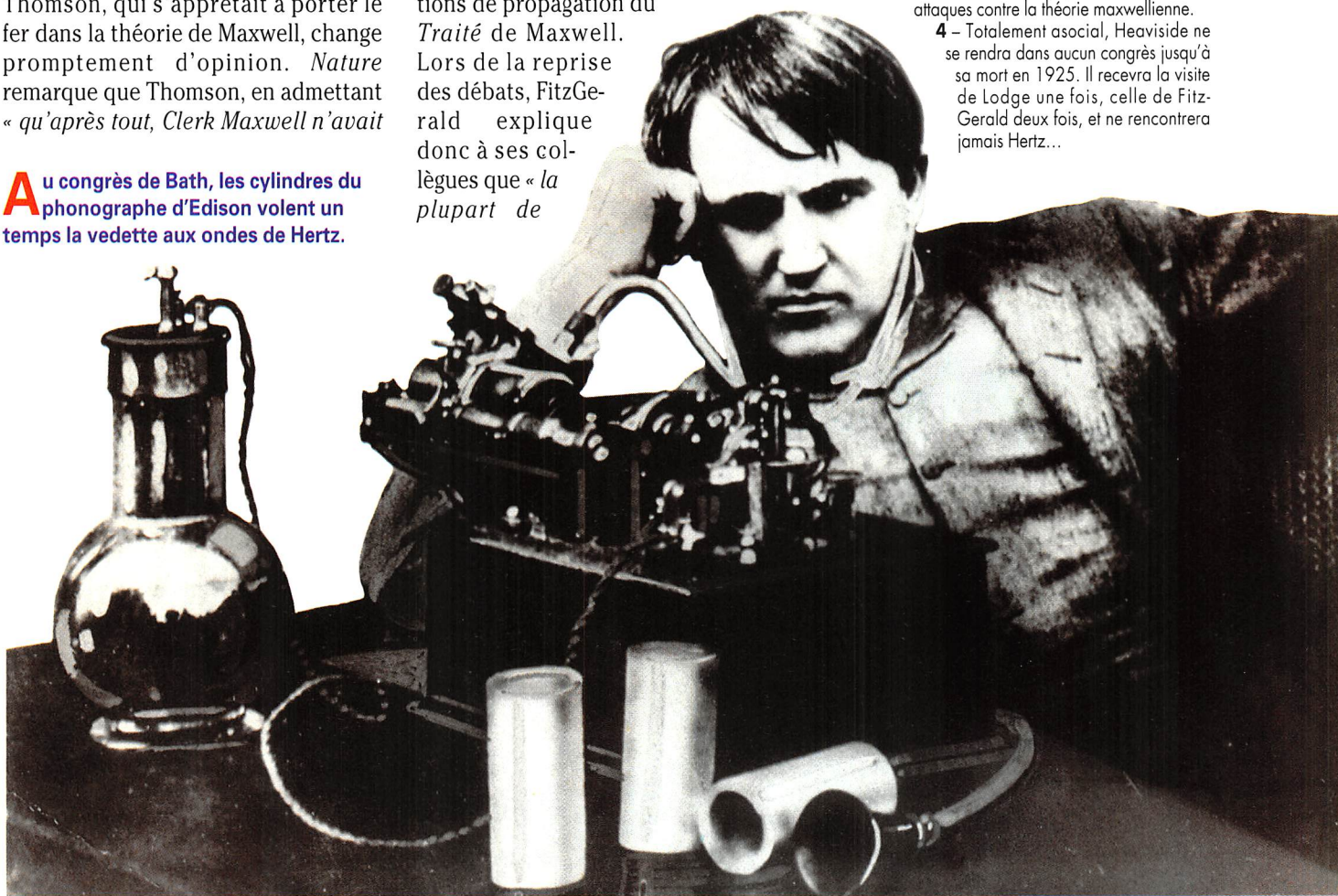
ces points délicats doivent probablement se trouver mathématiquement traités quelque part dans les écrits de Mr. Heaviside ». Mais qui, parmi les physiciens, a déjà entendu parler de lui ? Le dernier jour de la conférence, FitzGerald introduit la présentation de Henry Rowland en annonçant haut et fort que ce dernier va procéder au « meurtre de ψ » ! La discussion est vive et, ainsi que l'écrit la revue *Engineering*, « tout le monde regrette l'absence de Mr. Heaviside » ⁽⁴⁾. FitzGerald et Rowland sortent vainqueurs de la controverse : ψ est définitivement relégué au magasin des accessoires inutiles.

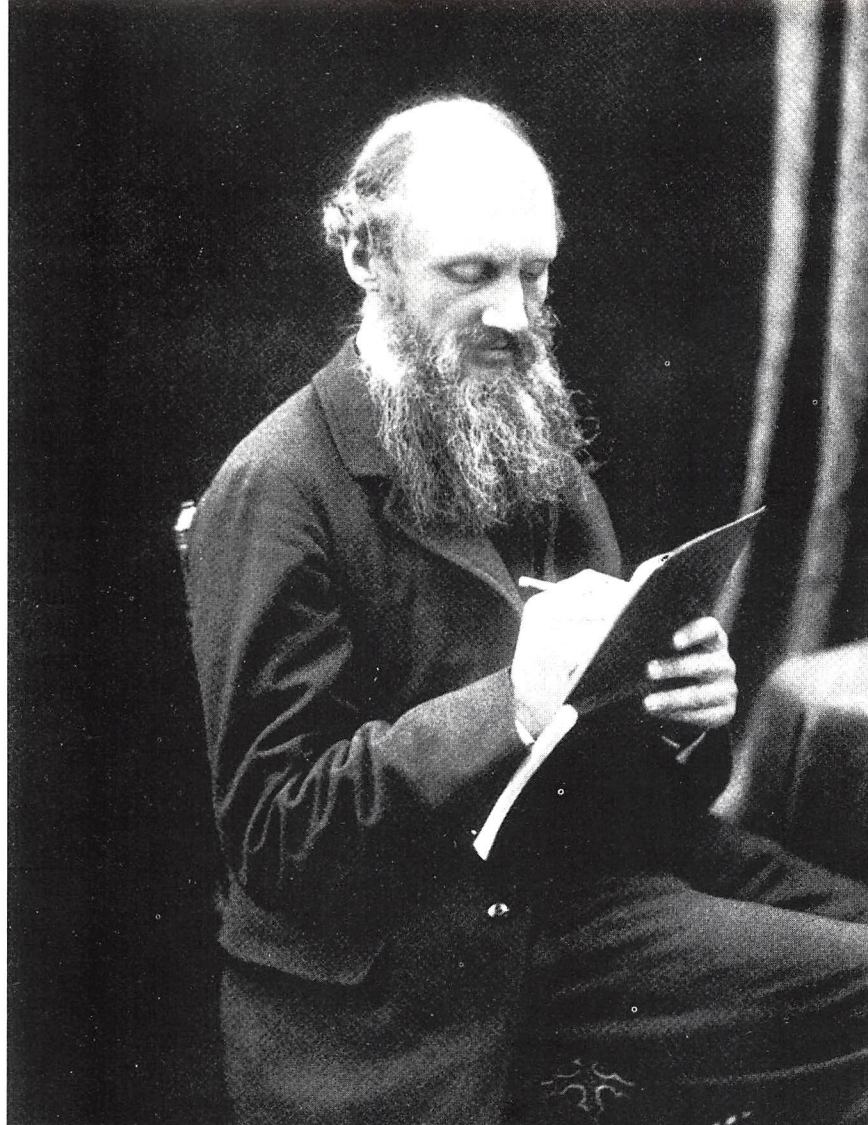
Lorsqu'il prend connaissance de cette issue plutôt heureuse, Heaviside, le grand absent, n'est pourtant pas

3 - Quelques années plus tard, W. Thomson retournera à ses anciennes conceptions et réitérera ses attaques contre la théorie maxwellienne.

4 - Totalement asocial, Heaviside ne se rendra dans aucun congrès jusqu'à sa mort en 1925. Il recevra la visite de Lodge une fois, celle de FitzGerald deux fois, et ne rencontrera jamais Hertz...

Au congrès de Bath, les cylindres du phonographe d'Edison volent un temps la vedette aux ondes de Hertz.





William Thomson (haut) a-t-il pu se méprendre ? En reconnaissant qu'« après tout, Clerk Maxwell n'avait pas complètement tort », il provoque quelques sourires.

satisfait. Il faut aller plus loin, explique-t-il à Lodge : son propre objectif « *n'est pas seulement d'assassiner le potentiel ψ de Maxwell, mais aussi ce merveilleux monstre à trois pattes [...], c'est-à-dire le potentiel vecteur lui-même* », un autre fondement apparent de la théorie de Maxwell. Au mois d'octobre, Heaviside enverra une note au *Philosophical Magazine*. Son titre provocateur est caractéristique du style d'Heaviside : *Sur la nature métaphysique de la propagation des potentiels*. Il y explique que Maxwell s'est lourdement trompé en accordant la première place aux « *potentiels* ». Ce sont les « *forces électrique et magnétique E et H* » qu'il faut installer sur le devant de la scène. Alors le problème de la propagation des potentiels, qui avait tant préoccupé les physiciens à Bath, s'évanouit tout simplement ⁽⁵⁾ ! Un second « *meurtre* » est sur le point d'être perpétré...

A Karlsruhe, Hertz reçoit avec quelque retard les nouvelles de Grande-Bretagne. Le 23 septembre, il écrit à FitzGerald pour le remercier d'avoir donné un tel écho à « *ses simples expériences* ». Fait-il preuve de fausse modestie, de profonde sincérité ou d'une méconnaissance du climat scientifique britannique ? En tout cas, Hertz s'exprime en ces termes : « *Je n'avais guère espéré que ces dernières [expériences] recevraient tant de louanges, particulièrement en Grande-Bretagne, où ces conceptions sont apparues et où, en fait, presque tout le monde était convaincu de leur exactitude. Je*

5 – De fait, les équations de Maxwell sont enseignées aujourd'hui sous une forme très voisine. Il serait probablement plus juste de les appeler équations de Maxwell-Heaviside-Hertz...



craignais que l'on y dise : tout cela est bien connu. » D'autre part, Hertz encourage FitzGerald à reproduire ses expériences : « Je considère que cela est tout à fait nécessaire et je suis également convaincu que cela engendrera de nombreuses choses nouvelles. »⁽⁶⁾

Pendant les mois suivants, de longues lettres voyagent entre Dublin et Karlsruhe. Quelques-unes s'échangent également entre Liverpool et la capitale du Grand Duché de Bade. FitzGerald, Lodge et Hertz entrent alors dans le vif du sujet de leurs recherches respectives. Heaviside rejoint le trio un peu plus tard, lorsqu'au début de l'année 1889, il lit dans la revue *Electrician* un abondant résumé des travaux de Hertz. Le 30 janvier 1889, Heaviside écrit à FitzGerald : « D'après ce que je vois, Hertz n'est pas un maxwellien, bien qu'il soit en train d'apprendre à le devenir. Par maxwellien, j'entends quelqu'un qui suit Maxwell tel qu'il est interprété par O. H. », en clair par Oliver Heaviside en personne...

Pour diffuser ses idées, Heaviside, bien que dépourvu de moyens, fait imprimer à compte d'auteur un recueil de ses articles. Il l'intitule *Electromagnetic Waves* et en envoie un exemplaire à Hertz. Mais il omet d'indiquer sa propre adresse ! Hertz est obligé de la demander à FitzGerald qui, en lui répondant, écrit à propos d'Heaviside : « Ses recherches sont très intéressantes, mais c'est un tel maître en symboles qu'il est difficile à suivre et se laisse un peu emporter par eux dans l'étude de phénomènes inexistantes. »

Dès que la connexion entre Hertz et Heaviside est établie, les deux hommes s'écrivent abondamment pendant une année. Heaviside reconnaît aisément que sa « méthode pour s'attaquer aux problèmes d'électromagnétisme est excentrique ». Sa notation l'est tout autant, aussi considère-t-il comme « la moindre des choses d'essayer d'alléger » le travail de lecture de Hertz en com-

mençant par une « brève explication » de ses excentricités : « Certes, en ce qui concerne les expressions symboliques, il faut s'y habituer. Toutefois, lorsque cela est fait, [vous reconnaîtrez que] leurs avantages sont évidents dans la concision des expressions, dans la rapidité d'exécution et dans le nettoyage de mathématiques qui ne sont utiles à personne. »

Le 21 mars 1889, Hertz éprouve encore quelques difficultés d'assimilation : « Je comprends mieux vos méthodes d'après vos lettres qu'en lisant vos livres où elles demeurent cachées derrière de nombreux cas particuliers. [...] Je trouve très difficile de suivre vos symboles et votre mode d'expression très original. Vous savez que les symboles mathématiques sont comme une langue dont votre écriture est un lointain dialecte. [...] Vos méthodes représentent davantage que vos symboles. » Le 5 mai, l'apprentissage de Hertz touche à sa fin : « J'éprouve de plus en plus de respect pour votre travail », écrit-il à Heaviside. Presque en s'excusant, Hertz ajoute : « Je me sentais obligé de vous avertir que vous apparaissiez un peu obscur aux hommes ordinaires. »

Le 10 août, Hertz, le célèbre expérimentateur hors pair, se laisse emporter : « La théorie va bien plus loin que l'expérience, parce que l'expérience parvient à peine à nous murmurer ce que la théorie nous dit en phrases claires et hautes. » Heaviside, le théoricien en chambre, met un frein à cet enthousiasme : « La théorie est certainement très en avance sur la vérification expérimentale pour certains aspects, mais qu'elle est loin derrière pour d'autres ! » On l'a souvent accusé de dogmatisme vis-à-vis de la théorie de Maxwell, dit-il, mais il n'en est rien : « J'ai souvent essayé, mais je n'ai jamais pu échapper à la théorie de Maxwell. Toutefois, je la considère seulement comme un cadre de travail ; il y a plein de choses dont elle ne peut pas rendre compte. » Le dispositif de Hertz, par exemple : « Une théorie maxwellienne complète de vos

oscillateurs et résonateurs me semble quasiment impossible », avoue Heaviside...

Dans la même lettre, Heaviside pointe un problème : « Il reste la question vexante du mouvement de l'éther. Bouge-t-il lorsque des corps se déplacent à travers lui, ou reste-t-il immobile ? Nous savons qu'il y a un éther ; il est donc légitime de se poser la question et d'y apporter une réponse physique. » Heaviside encourage Hertz : « J'espère que la poursuite de vos recherches fournira des éléments de réponse. » Car, faisant preuve d'une étonnante prescience, Heaviside croit que, « dans les prochaines années, de très grandes avancées viendront de notre connaissance sur les relations entre matière et éther. »⁽⁷⁾

En cette année 1889, les diverses connexions sont désormais établies entre les quatre maxwelliens. Elles sont fort efficaces et chaque membre du réseau remplit son rôle. Dans leurs publications scientifiques, ils diffusent la théorie renouée de Maxwell, et les uns et les autres connaissent une notoriété croissante. Certes, quelques foyers de résistance apparaissent ici ou là, notamment en France (voir l'article de M. Atten), mais les fondations de la théorie sont solides.

L'âge d'or des maxwelliens dure jusqu'à la mort prématurée de Hertz en 1894. La science de l'électromagnétisme est cependant loin d'être achevée. Ainsi, l'arrivée de l'électron sur la scène conduira à une vision microscopique des phénomènes, absente de la théorie originelle de Maxwell... ■

7 – De fait, la réponse surgira de Suisse, plus exactement du cerveau d'Albert Einstein, quinze ans après cet échange de lettres. En fondant la relativité restreinte en 1905, Einstein procédera d'ailleurs à un nouveau « meurtre » : celui de l'éther auquel Heaviside était tant attaché ! (Cf. les *Cahiers de Science & Vie* n° 16.)

Pour en savoir plus, lire les deux ouvrages qui ont fourni la matière première de cet article : *Hertz and the Maxwellians*, par J.G. O'Hara & W. Pricha, Editions Peter Peregrinus Ltd, Londres, 1987 ; *The Maxwellians*, par Bruce J. Hunt, Cornell University Press, Ithaca et Londres, 1991.

DE LA RÉPLICATION DES

En septembre 1888, lors de la réunion de la *British Association* à Bath, les maxwelliens s'emparent des résultats de Hertz et leur donnent un formidable écho. Nul ne s'étonnera qu'une fois de retour dans leurs laboratoires, ils soient les premiers à tenter de reproduire ses expériences.

Dès octobre, à Dublin, Georges F. FitzGerald et son assistant Frederick T. Trouton s'y attellent en priorité. Ils seront bientôt suivis par Lodge et Howard à Liverpool. Dans les deux cas, ce sont des expériences « d'optique électrique » qui sont engagées. Elles mettent en scène un excitateur et un résonateur, des plaques métalliques (supposées jouer le rôle de miroir) et des lentilles (censées faire converger

les ondes). Avec ces dispositifs, le comportement des phénomènes doit paraître en tout point semblable aux expériences d'optique classique : réflexion, réfraction, polarisation de la lumière. Ainsi, les physiciens brit-

anniques espèrent-ils confirmer l'affirmation majeure de la théorie de Maxwell : l'identité électromagnétique de la lumière...

Trouton commence par construire, de la façon la plus fidèle possible (mêmes matériaux, même dimensions que ceux de Hertz), un excitateur et un résonateur. Lors de la publication de ses premiers résultats dans *Nature* en janvier 1889, il affirme avoir obtenu des ondes d'une longueur d'une dizaine de mètres, analogues au résultat annoncé par Hertz. Pour vérifier la nature ondulatoire des phénomènes, Trouton s'écarte cependant d'une stricte reproduction de l'expérience

Une expérience réellement novatrice suscite rapidement l'intérêt de la communauté internationale des physiciens. Certains théoriciens s'empressent d'y voir la confirmation de leurs hypothèses. D'autres restent perplexes, en attente d'une vérification par les expérimentateurs. Dans le cas de l'expérience de Hertz, les réactions à l'innovation dépendent étroitement du contexte scientifique et culturel local. Voyons comment les physiciens de langue française se démarquent de leurs collègues britanniques...

PAR MICHEL ATTEN



THE UNIVERSITY OF LIVERPOOL

James Howard

allemande. Il emprunte une idée à l'un des prédécesseurs de FitzGerald dans la chaire du *Trinity College* de Dublin : Humphrey Lloyd. Dans les années 1830, Lloyd avait en effet imaginé un dispositif original pour produire des interférences « à la Fresnel ». Il faisait appel à une seule surface réfléchissante. De manière identique, Trouton place juste derrière son excitateur primaire une feuille de zinc (de 3 m²) : en avant de l'excitateur, l'onde directe et l'onde réfléchi par ce « miroir » doivent interférer. De fait, Trouton fait

part de trois observations, c'est-à-dire trois « nœuds » où les étincelles du résonateur disparaissent. Comment douter qu'il s'agit bien d'une onde ?

Trouton et Fitzgerald ont moins de succès lorsqu'ils cherchent ensuite à mettre en évidence la polarisation de cette onde (permettant, selon le schéma maxwellien, de déterminer la direction des vibrations électrique et magnétique). Ils la font se refléter sur une plaque de verre, mais n'obtiennent aucun résultat malgré l'utilisation de deux miroirs paraboliques (plaques de

EXPÉRIENCES DE HERTZ

zinc courbées) censés concentrer la radiation. Ils en attribuent la raison, à la suite d'une remarque du physicien J. Joly, à l'épaisseur inadéquate de la plaque de verre utilisée...

A Liverpool, c'est au printemps 1889 qu'Oliver Lodge et son assistant James Howard s'engagent à leur tour dans une réplique des expériences de Hertz. Leur interprétation est semblable à celle de leurs collègues irlandais. Toutefois, deux dispositifs sont originaux. Premièrement, leur excitateur est de petites dimensions (deux plateaux de 200 cm^2 au lieu de 1600 pour Trouton, le fil a 12 cm de long au lieu de $120...$). Ils estiment ainsi

atteindre un « taux de vibration » de 300 millions par seconde (au lieu de 30), qui leur permet d'obtenir des ondes d'environ un mètre, assurent-ils. Deuxièmement, afin de concentrer les rayons d'oscillations, ils fabriquent une paire de lentilles.

Lodge estime nécessaire de rendre compte, de façon détaillée, de la construction laborieuse de ces objets. Elle nécessite des hypothèses sur la courbure, sur la distance focale suppu-

A la publication des expériences de Hertz, un foyer de contestation s'organise chez les physiciens français de l'Académie des sciences.

tée (le calcul reste approximatif – 41 cm – mais, précisent-ils, « *expérimentalement, 51 cm semble être meilleur* ») et, évidemment, sur le matériau. Après moult hésitations (paraffine, sulfure, résine...), ils choisissent la poix. C'est d'abord un matériau analogue à celui utilisé par Hertz pour son prisme, ce qui leur permet de reprendre le même chiffre pour l'indice de réfraction ($\mu = 1,7$). Il est pourtant impossible de savoir si les poix fabriquées par une usine allemande ou britannique sont identiques. Mais ce matériau est par ailleurs très bon marché... Les deux lentilles font chacune environ 1 m^2 : leur moulage et leur installation sont

COIL VOQUET



DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ

déliçats (ce matériau semble fondre facilement). Une fois installées en vis-à-vis sur une table de 2,5 m de long, il n'est donc plus question de les déplacer. Dès lors, l'expérimentation de Lodge et Howard consiste à disposer l'excitateur au foyer derrière la première lentille, censée transformer les rayons électriques en un faisceau parallèle. Celui-ci vient frapper la surface plane de la seconde, dont le rôle consiste à faire converger les rayons vers un foyer.

Les deux Britanniques assurent avoir constaté clairement l'existence d'un cône de convergence. Leur excitateur paraît de courte portée puisqu'ils éprouvent de la difficulté à détecter, en direct, des étincelles au-delà de 120 cm. Encore faut-il s'assurer que les boules de l'éclateur soient parfaitement polies et que le noir de la pièce soit absolu... Leur résonateur est

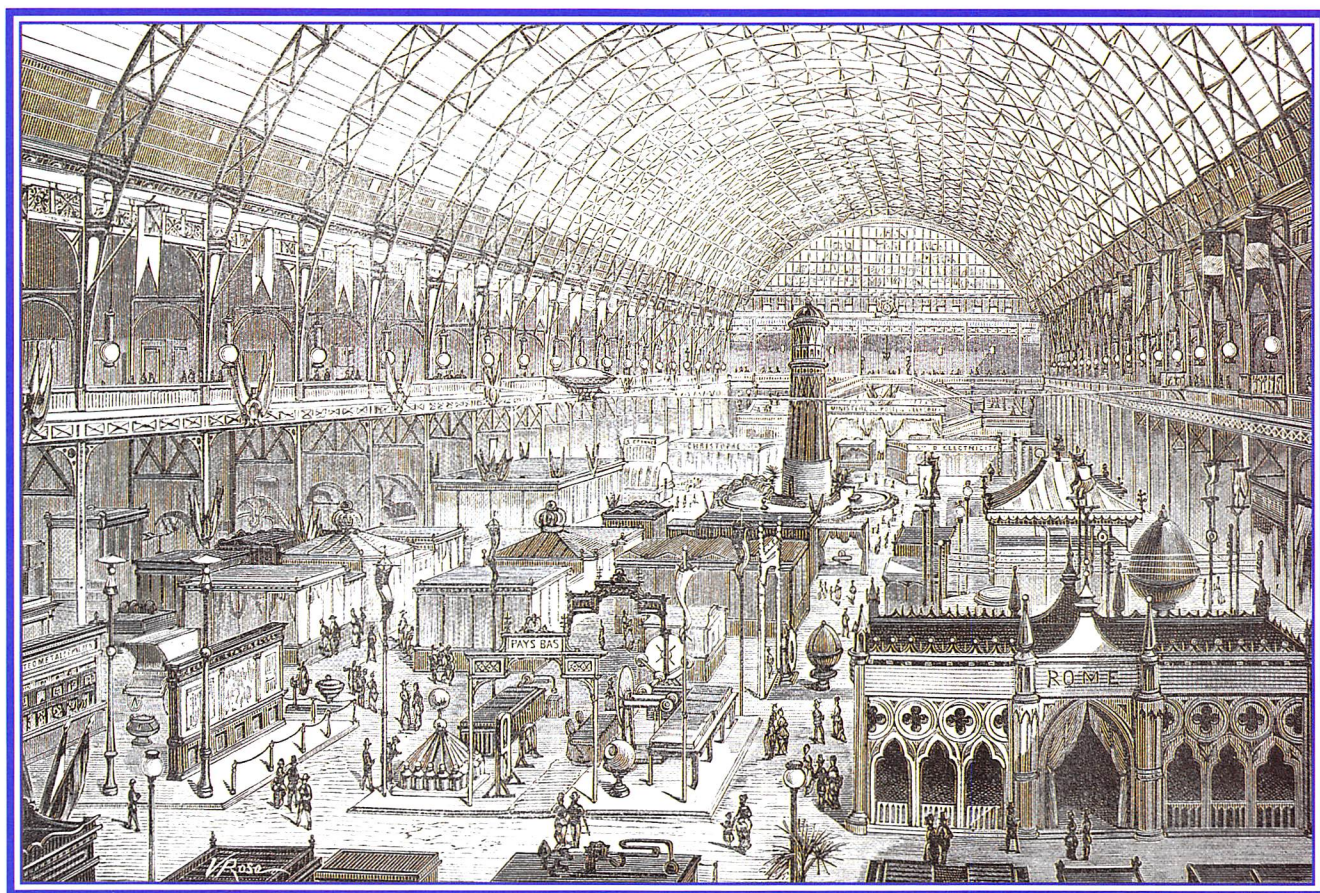
linéaire : le fil, d'une longueur totale de 53 cm, est coupé en son milieu d'un éclateur. Ce résonateur correspond approximativement à la moitié de la longueur d'onde de l'excitateur, telle qu'ils l'ont calculée (un mètre). Il est placé derrière la face plane de la première lentille, parallèlement puis perpendiculairement à l'axe de l'excitateur. Dans le premier cas, Lodge et Howard constatent des étincelles très brillantes et, dans le second, une extinction totale : ils interprètent ceci comme la manifestation de la polarisation de l'onde. Enfin, ils annoncent avoir produit, en couvrant d'une feuille d'étain la surface plane de la seconde

lentille, des interférences tout à fait analogues à celles de Hertz. Cela leur permet de déterminer la longueur d'onde, qu'ils trouvent être de 101 cm : le calcul donnait 100 cm, assurent-ils. Leur conclusion est explicite : « *Les résultats précédents vont tous dans le sens d'une confirmation de l'identité de la radiation électrique et de la lumière* ».

Déjà présentés devant la *Société de physique* en mai 1889 ⁽¹⁾, ces résultats sont publiés dans le *Philosophical Magazine* en juillet 1889 avec un *addendum* : Lodge y revient sur les calculs de Hertz pour la période (ou longueur d'onde) de l'excitateur. Lodge trouve en effet une différence d'un facteur 2 dans le calcul de la capacité (ou $\sqrt{2}$ pour la longueur d'onde), différence qu'il s'attribue faute d'en identifier la source : « *Ce n'est pas sans beaucoup de*

Devant l'engouement du public, des expositions d'électricité sont organisées. Les fonds récoltés lors de ces manifestations permettent la création de laboratoires de recherche.

1 – Dans La Revue Scientifique.



DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ

scrupules que nous nous trouvons différés, même d'un facteur 2, avec un homme si splendidement soigneux dans son travail comme Hertz nous l'a montré. Il est plus que probable qu'il ait raison après tout, nous expliquerons alors ce qui reviendra à être notre erreur dans cette note ». Remarquons par ailleurs que, dans tous ses calculs,

Lodge présuppose, ce qui est évident pour lui, que les ondes électriques se propagent à la vitesse de la lumière.

Traversons la Manche... Sur le continent, la première tentative de reproduction des dispositifs de Hertz est effectuée en mars 1889 par deux Français. L'un d'entre eux, Guillebot de Nerville, ingénieur des télégraphes, est responsable du nouveau *Laboratoire central d'électricité*, mis sur pied avec les fonds récoltés lors de l'exposition d'électricité de Paris en 1881. On y trouve une grande salle vide que Guillebot de Nerville met à disposition de Jules Joubert, physicien favorable aux idées de Maxwell. Joubert avait notamment rédigé avec le professeur de physique du Collège de France, Eleuthère Mascart, un livre publié en 1882 et 1885, *les Leçons d'électricité et de magnétisme*. On y trouvait, présentés en français, les principaux développements et résultats de W. Thomson et de J. C. Maxwell. En ce mois de mars 1889, Joubert réunit dans une même publication un compte-rendu de ses manipulations, une introduction résumant les travaux antérieurs du physicien allemand et la traduction, intitulée *Sur les rayons de force électrique*, de la note de Hertz présentée par Helmholtz à l'Académie de Berlin en décembre 1888.

Le texte de Joubert et Guillebot de Nerville, très court, tient autant du



BOYER-VIOLET

Eleuthère Mascart

reportage d'une démonstration publique que d'un article expérimental. Aucun chiffre de mesure n'est donné. Est conté ce qui est « montré » : comment « on » s'assure de l'émission des ondes par l'excitateur (« on reconnaît que l'appareil fonctionne bien au bruit et à l'aspect des étincelles », puis « quand les oscilla-

tions se produisent, il n'existe pas dans la salle, ni dans les salles voisines, de morceau de métal, grand ou petit, isolé ou en communication avec le sol, dont on ne puisse tirer des étincelles »). Ils confectionnent deux résonateurs filaires circulaires, « l'un à un seul tour et bien ajusté, l'autre de même diamètre, mais se composant de plusieurs spires ». Alors, « les étincelles obtenues avec le premier sont incomparablement plus grandes que celles qu'on obtient avec le second ». Ils en concluent qu'il s'agit là « d'une expérience curieuse qui met bien en évidence le caractère particulier du phénomène »...

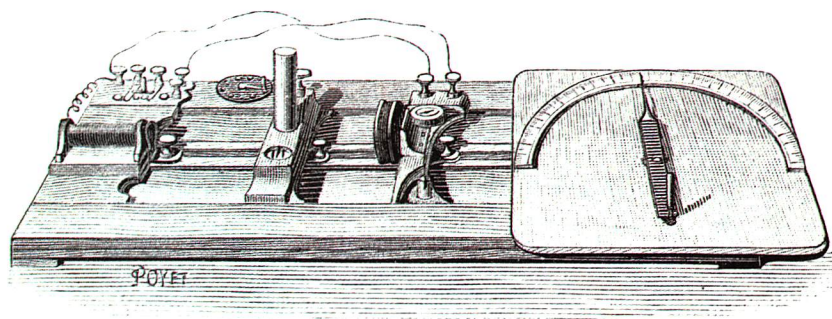
Le reste des démonstrations est réalisé à l'aide d'un résonateur filaire rectiligne « très sensible ». Voilà qui permet l'effet spectaculaire : une fois l'ensemble bien réglé, « on obtient des étincelles très brillantes qui atteignent 7 à 8 millimètres dans le voisinage de l'excitateur, mais qui sont encore visibles dans toutes les autres salles, dans la cour, dans la rue, même à plus de 50 mètres de distance et à travers plusieurs murs ». Mais « on » explore aussi d'autres effets : influence de la lumière sur la production des étincelles ; interférences à l'aide d'un miroir métallique de six mètres sur quatre fixé sur un mur (« avec l'appareil à plaques, on constatait un nœud très marqué à une distance de 3,6 m environ du mur ») ; transparence aux ondes d'un mur de

pierre (« on ne peut guère constater de différence entre les étincelles qu'on obtient d'un côté et de l'autre ») ; enfin, à l'aide de « deux miroirs paraboliques, identiques comme dimensions à ceux de M. Hertz, on a pu répéter les expériences de propagation et de réflexion du rayon électrique ».

En résumé, à la mi-1889, l'essentiel des reproductions se sont attachées au caractère « optique » des oscillations de Hertz, que ce soit en Grande-Bretagne ou en France. Réalisées par des hommes convaincus de la vérité de la théorie électromagnétique de la lumière de Maxwell, elles montrent qu'ils acceptent sans la moindre réserve la mise en forme proposée par Hertz. Pour eux, la production et la détection, ou non-détection en certains points, d'étincelles à l'aide de dispositifs électriques témoignent de la réalité d'ondes se comportant presque exactement comme la lumière.

Confiant, Joubert résume ainsi l'état de la question : « Ces expériences [de Hertz] pourront certainement être répétées avec des procédés d'exploration et de mesures plus délicats, et dans des conditions encore plus caractéristiques ; mais, telles qu'elles sont, elles ne paraissent laisser aucun doute sur la propagation des actions électriques par le milieu. »

Notons que tous ces physiciens laissent de côté le résultat, plus troublant, trouvé par Hertz pour les vitesses de propagation dans l'air et dans les fils. Sur ce sujet, lisons ces quelques lignes, extraites d'un article publié, en français, par Hertz en mai 1889 : « La vitesse dans l'air n'est donc pas infinie et elle n'est pas non plus égale à celle dans le fil. Des observations aussi soigneuses que possible m'amènent à reconnaître que la vitesse dans l'air est la plus grande des deux et que son rapport à la vitesse dans le fil est d'environ 7 à 4. » Hertz reconnaît qu'il ne lui « est pas possible de tirer de ses expériences une valeur plus exacte pour le rapport de ces deux vitesses. » Toutefois, explique-t-il,



J.J. Thomson modifie la classique balance d'induction de Hughes : grâce à l'invention de Hertz, il peut l'alimenter avec des courants alternatifs à haute fréquence .

« d'après les expériences de Fizeau et Gounelle, de Siemens et d'autres, la vitesse des ondes électriques dans les fils est de l'ordre de 180 000 à 200 000 kilomètres à la seconde. » Et la phrase suivante est prudemment écrite au conditionnel : « La vitesse des ondes dans l'air serait alors du même ordre que la vitesse de la lumière, sans toutefois que nous ayons la prétention d'avoir démontré que ces deux vitesses soient absolument égales. »

DE L'UTILISATION DES DISPOSITIFS DE HERTZ À D'AUTRES FINS

Au *Laboratoire Cavendish*, l'approche de John Joseph Thomson et de son assistant E. Everett diffère de celle adoptée par leurs collègues. Ils sont les premiers à proposer une autre piste, qui va connaître de nombreux développements : l'utilisation, à des fins de mesures, des dispositifs de Hertz dans des montages n'ayant rien à voir avec une quelconque réplique de ses expériences. Saisissant la possibilité créée par Hertz de produire ce qu'il considère comme des courants alternatifs à haute fréquence, Thomson l'utilise afin de modifier un classique instrument de laboratoire : la balance d'induction de Hughes. En janvier 1889, dans l'article rendant compte de ses résultats préliminaires, Thomson développe également ses explorations théoriques antérieures (1885) quant à la propagation de l'électricité dans les fils. Tentant alors de

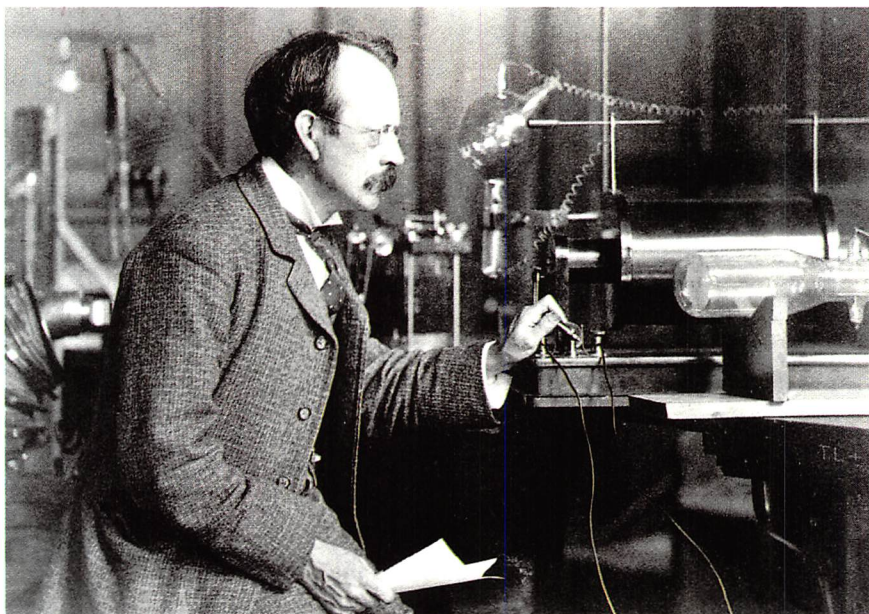
résoudre la question du calcul de la période, il espère en tirer des conséquences permettant de départager les diverses théories électrodynamiques (Maxwell et Helmholtz en l'occurrence). Néanmoins, sa longue discussion théorique n'aboutit pas à une conclusion très nette.

En mai, Thomson poursuit ses explorations en s'attachant, cette fois, au résultat le plus problématique de Hertz : la vitesse de propagation dans des fils électriques longs. Prolongeant ses calculs de janvier, Thomson commence par un long exposé théorique de la propagation dans le cas d'un « *câble coaxial* ». C'est avec de tels câbles qu'il cherche à répliquer l'expérience de Hertz de propagation dans les fils. Ils lui servent à relier les deux boules de l'éclateur du résonateur à deux longs fils parallèles : selon Hertz, ceux-ci guident les ondes produites par l'excitateur, dont les plaques font face aux plaques soudées à l'extrémités des fils. L'enveloppe métallique

externe de ces câbles est mise à la terre ce qui, assure Thomson, évite l'état électrique incertain créé par l'environnement.

En effet, reprenant ses essais après les vacances de Pâques, Thomson avait constaté des différences importantes pour la distance entre deux nœuds (de l'ordre de 2 à 3 m sur les 10 m initiaux). Il avait fini par les attribuer à l'effet produit par les murs environnants, car l'ensemble de ses dispositifs avait été déplacé au cours des vacances et rapproché de certains murs de la pièce. Déplaçant le fil interne du câble coaxial le long des fils de Hertz, Thomson détermine deux points au même potentiel (extinction des étincelles), qu'il trouve séparés de 10 m : cela correspond à la longueur d'onde dans l'air trouvée par Hertz avec un excitateur analogue. Thomson en déduit que la vitesse de propagation dans les fils est, contrairement au résultat de Hertz, du même ordre de grandeur que celle de la propagation

J.J. Thomson réfute les résultats de Hertz : il montre que la vitesse de propagation des ondes dans les fils est du même ordre de grandeur que celle de la propagation des ondes dans l'air.



DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ

dans l'air, approximativement celle de la lumière. Son expérience est-elle **t o t a l e m e n t** concluante ? Il aurait été plus convaincant de sa part de déterminer avec son propre dispositif la longueur d'onde dans l'air. Mais il concède, sans autre explication, n'y être point arrivé...



David Edward Hughes

LA MULTIPLICATION DES MISES EN SCÈNE EXHIBANT LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES

Les dispositifs expérimentaux de Hertz sont délicats à mettre en œuvre et, finalement, peu spectaculaires. A la différence de la lumière, les supposées radiations électriques ne se voient pas, sinon à travers des effets minuscules, évanescents, accompagnés d'un discours interprétatif donnant sens à ce qu'on voit : des étincelles d'à peine quelques millimètres de long. Cela n'empêche pas la plupart de ceux qui ont entrepris des reproductions de commencer, dès qu'ils ont réussi à maîtriser les dispositifs, à organiser des démonstrations publiques. FitzGerald et Trouton se livrent à cet exercice à plusieurs reprises à Dublin, de même que Lodge à Liverpool et à la *Royal Society* de Londres, ou encore J.J. Thomson au *Cavendish*.

A Paris, c'est devant une réunion extraordinaire regroupant les membres de la *Société française de physique* et ceux de la *Société internationale des électriciens* que Joubert et de Nerville présentent les « rayons de Hertz ». Ne pouvant transporter l'ensemble du dispositif au siège de la *Société française de physique* lors de la

séance du 17 mai 1889, Joubert apporte un élément en gage de crédibilité : « *L'excitateur, placé sous les yeux de la Société, est un conducteur...* ». L'activité principale des séances hebdomadaires de la Société de physique consiste à reproduire *in situ*, devant les membres, des expériences réali-

sées entre les murs des laboratoires. Montrer les dispositifs et les effets est une activité essentielle de la persuasion, auprès des pairs et même devant un public plus large. Dans le cas de Hertz, cela nécessite des mises en scène soigneuses, sophistiquées.

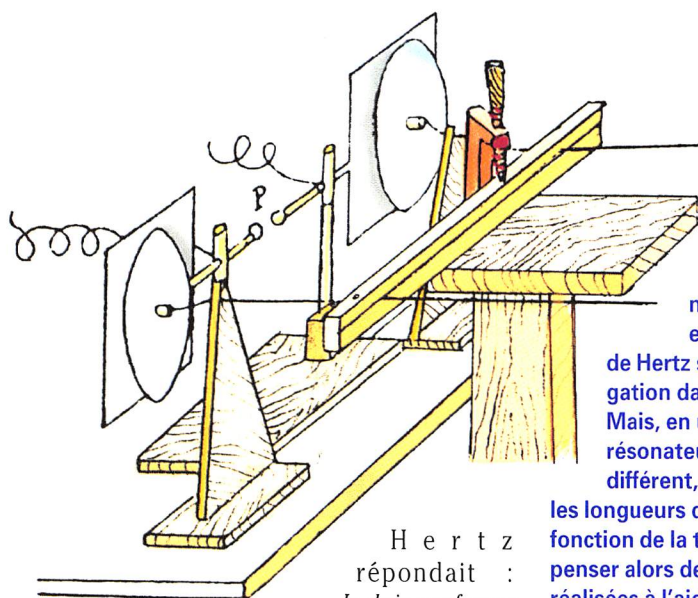
En Autriche, Ludwig Boltzmann fournit un exemple remarquable du degré de soin qu'elles requièrent. Il annonce, début 1890 : « *J'ai réussi avec succès à montrer à tout un auditoire les étincelles qui se forment entre une boule et une pointe dans les recherches de Hertz sur le rayon de force électrique* ». Afin de rendre « les expériences de Hertz visibles à un auditoire d'environ 200 personnes », Boltzmann relie sa boule à un électroscope très sensible et sa pointe à une batterie galvanique convenable. Il détaille dans son compte-rendu les précautions à prendre pour ce type de démonstration : « *Pour chaque expérience, il fallait avoir la précaution de ne pas faire éclater plus de trois ou quatre étincelles primaires, sans quoi les électrodes ne pouvaient plus être maintenues propres et brillantes* ». Il faut avoir soin « *d'éviter la couche d'oxydation, les poussières et les fissures du métal et ne pas avoir des surfaces grasses* ». Et Boltzmann de donner les recettes : nettoyer les boules « *avec de l'acide sulfurique*

étendu, de l'eau distillée », puis essuyer avec un linge bien propre. Pour l'oxydation, il recommande de polir « *avec du blanc d'Espagne légèrement humecté d'alcool* »... Il peut ainsi montrer « *avec sûreté l'étincelle secondaire engendrée par une seule étincelle primaire* » sur « *une distance de 36,8 mètres* ». Cela passe par un réglage d'une grande précision (à 1/1000^e de millimètre), mais il y parvient ! Enfin, Boltzmann signale qu'il a également fait, en s'inspirant de la disposition des miroirs de Fresnel, quelques recherches d'interférence.

Ce souci de la démonstration publique conduit à la multiplication des dispositifs secondaires pour augmenter les effets des étincelles et accroître leur visibilité. Dragoumis emploie des tubes de Geissler, Bartoniak des lampes à incandescence hors d'usage, Blyth un tube de caoutchouc relié à un électromètre à cadran, FitzGerald un galvanomètre, von Döbrynski la photographie...

Ainsi, vers la fin de 1889, des centaines de personnes à Dublin, Liverpool, Londres, Paris, un peu plus tard à Vienne, ont été les témoins d'étincelles plus ou moins vives, éclatées entre les petites boules d'un dispositif secondaire, que l'on déplace sur des zones où elles disparaissent puis réapparaissent. Comme le dit E. Meylan dans son éditorial bilan de l'année 1888 de *La Lumière électrique* : après Hertz, « *Lodge n'a pas craint de soulever le dernier voile : l'ondulation électromagnétique et l'ondulation éthérique lumineuse ne sont qu'un seul et même phénomène* ». Tout à la fois le phénomène physique, les expériences qui le prouvent et son interprétation maxwellienne « *ne paraissent laisser aucun doute* » pour reprendre l'expression de Joubert. Et pourtant le doute va s'insinuer...

En fait, il est déjà présent chez Hertz lui-même, comme en témoigne une lettre adressée à Lodge en juillet 1889. Celui-ci lui avait écrit pour lui signaler son erreur de calcul d'un facteur $\sqrt{2}$.



Les
physi-
ciens Edouard Sarasin
et Lucien de la Rive
repren-
nent les
expériences

de Hertz sur la propa-
gation dans les fils.
Mais, en utilisant des
résonateurs de diamètre
différent, ils découvrent que

les longueurs d'onde mesurées sont
fonction de la taille du résonateur. Que
penser alors des expériences de Hertz
réalisées à l'aide d'un seul résonateur?
Qu'a-t-il exactement mesuré?

H e r t z
répondait :
« Je dois confesser
que je me suis moi-

même aperçu de cette erreur il y a
quelque temps déjà. Pourquoi ne me
suis-je pas empressé de la corriger ?
Parce que j'ai perdu toute confiance
dans l'ensemble du calcul... Je suis à
présent certain que toutes ces vibrations
ont lieu en dehors du fil. Or le calcul sup-
pose un courant interne uniforme et rien
à l'extérieur. Alors, à quoi bon ? Par
ailleurs, la seule chose qui soit affectée
par mon erreur concerne la comparai-
son numérique entre les vitesses calcu-
lées et observées dans l'air et dans les
fils ; et j'ai désormais là-dessus un doute
qui concerne même les faits expérimentaux.
[...] Ainsi, je préfère réserver mon
opinion sur le sujet tant que des preuves
expérimentales supplémentaires
n'auront pas été apportées. » Hertz
s'abstient cependant de rendre
publique cette « réserve » sur ses
propres faits expérimentaux...

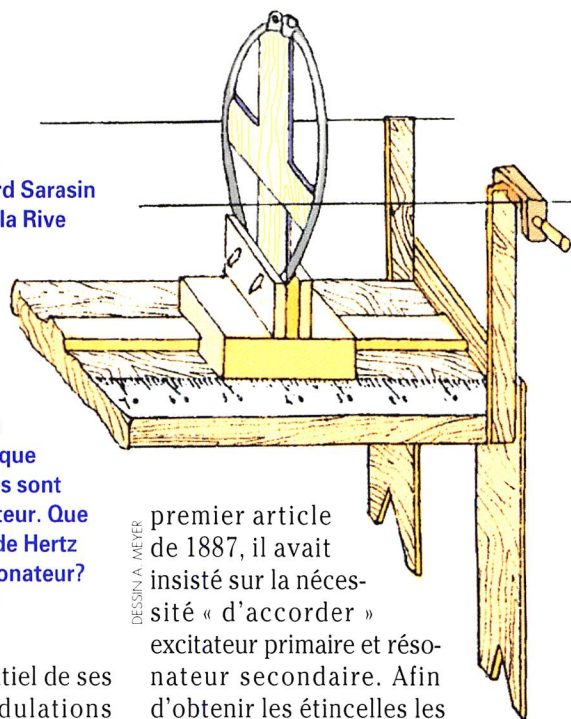
PREMIÈRE ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DU PHÉNOMÈNE DE HERTZ

Nous sommes maintenant à Genève.
Deux physiciens, Edouard Sarasin et
Lucien de la Rive, y entreprennent
l'étude systématique du phénomène
mis en évidence par Hertz : notam-
ment, l'expérience de propagation le
long des fils, « que nous avons variée de
différentes manières », précisent-ils.
Après avoir sollicité de Hertz un long
article, publié en avril dans les *Archives
des sciences physiques et naturelles* de

Genève et résumant l'essentiel de ses
travaux sur les ondulations
électriques ⁽²⁾, ils présentent dans
cette même revue leurs premiers résul-
tats en septembre 1889. Reproduisant
aussi fidèlement que possible, assu-
rent-ils, les dispositifs de Hertz, ils
constatent que les nœuds et les
ventres détectés par le résonateur ne
sont pas situés aux mêmes endroits
selon la taille de ce dernier ! Ils utili-
sent trois détecteurs secondaires qui
sont, comme ceux de Hertz, constitués
d'un fil circulaire coupé par un éclai-
teur : ils ont respectivement 75, 50 et
35 centimètres de diamètre.

Leur conclusion est nette : les lon-
gueurs d'onde mesurées (les distances
entre deux nœuds) sont déterminées
par les caractéristiques du secondaire,
et non par celles du primaire. Ils bap-
tisent ce phénomène « *résonance mul-
tiple* ». Leur interprétation est la sui-
vante : le primaire n'émettrait pas une
oscillation de période bien détermi-
née, mais une gamme d'oscillations de
fréquences diverses. Une note aux
*Comptes-rendus hebdomadaires de
l'Académie des sciences* de Paris (en
janvier 1890) résume l'essentiel de
leurs résultats, dont l'intégralité paraît
aux *Archives* de Genève en février.

Ce phénomène n'avait d'ailleurs pas
totalement échappé à Hertz. Dans son



premier article
de 1887, il avait
insisté sur la néces-
sité « d'accorder »
excitateur primaire et réso-
nateur secondaire. Afin
d'obtenir les étincelles les
plus brillantes, il faisait ainsi
varier la longueur du fil secondaire (ou
du primaire). Il employait déjà le terme
de « *résonance* », qui n'était toutefois
pas encore « *multiple* ». Dans ses calcu-
ls, Hertz a déterminé ses vitesses de
propagation des ondes, dans un fil
comme dans l'air, à l'aide de la formule
 $\lambda = V \cdot T$, V étant la vitesse cherchée, λ la
longueur d'onde mesurée et T la
période calculée à partir des caracté-
ristiques du primaire grâce à la for-
mule de W. Thomson : $T = 2\pi \sqrt{LC}$, L
et C étant les inductance et capacité du
primaire (formule couramment
employée pour la décharge de conden-
sateurs). Les expériences genevoises
posent cette question : une fois la
période T fixée par le dispositif pri-
maire, trouver plusieurs valeurs pour λ
doit-il conduire à plusieurs valeurs de
la vitesse V ? Ce serait fort gênant pour
une vitesse « universelle »...

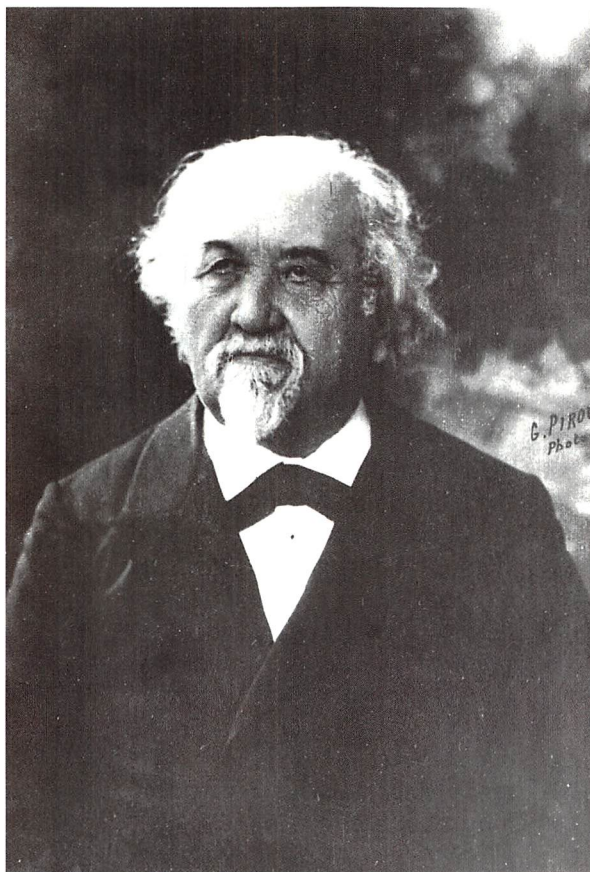
À la suite de la note aux *Comptes-rendus*
des deux Genevois, Trouton reven-
dique la priorité de la « *découverte* » du
phénomène de résonance multiple. Il
republie une très courte note qu'il
avait présentée, affirme-t-il, à l'*Associa-
tion expérimentale* de l'université de
Dublin à l'automne 1889. Ayant eu à
changer (par accident) de primaire, il
avait constaté qu'avec le second, sem-
blable mais pas tout à fait identique au
premier, il y avait un déplacement des

2 - C'est ce même article qui sera, un mois plus tard,
publié dans *La Revue scientifique* française.

DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ

nœuds et des ventres. Constat qu'il aurait interprété « *comme si un vibreur n'émettait pas une « ligne spectrale » mais une « bande spectrale » dont le centre est le plus brillant* ».

Le fait qu'il n'ait pas donné suite à ce hasard de l'expérience révèle que l'abord des physiciens de Dublin et de Genève est bien différent. Les premiers sont investis dans une logique de recherche d'expériences d'optique qui soient démonstratives par rapport à Maxwell. Les seconds se situent dans une logique traditionnelle d'expérimentateurs, à savoir « *étudier le nouveau phénomène de façon systématique, en faisant varier les circonstances* ». Naturellement, les résultats de Genève trouvent surtout un écho parmi les physiciens expérimentateurs. Et c'est en France qu'ils suscitent les réactions les plus vives...



COIL VIOLET

LE DOUTE DES FRANÇAIS

On peut dater de la mi-1889 les premiers travaux réalisés par des physiciens qui, s'ils connaissent le grand *Traité* du physicien britannique, ne sont pas directement impliqués dans une « démarche maxwellienne ». Au moment où le dernier cahier de la traduction du *Traité* de Maxwell paraît en juin 1889, Ph. Ledebour, chef du laboratoire de physique de la Sorbonne, publie un article qui présente de façon conséquente les théories électrodynamiques de Maxwell et de Helmholtz. C'est la première exposition en français de l'important travail effectué par Helmholtz en 1870. En effet, dans un contexte franco-allemand exacerbé par la guerre, le « maître » de la physique mathématique française, J. Bertrand, avait engagé en 1871-1873 une violente polémique avec Helmholtz. S'en était suivi, en France, une longue période

Joseph Bertrand

d'ostracisme à l'égard de ses théories. A l'occasion de cette « redécouverte » de Helmholtz, la plupart des physiciens français associent spontanément, et avec juste raison, le nom de Hertz à celui de son « maître », Helmholtz.

Le doute français éclate au grand jour dans la dernière semaine de 1889. L'Académie des sciences de Paris décerne à Hertz l'une de ses récompenses, le prix La Caze. Or, dans sa déclaration, la commission qui regroupe la fine fleur de la physique française fait, comme il se doit, l'éloge du physicien allemand pour son inventivité. Mais, événement rare dans ce genre de document, elle ajoute une mise en garde sur « *la valeur démonstrative de certains résultats obtenus* ». Alfred Cornu, professeur à l'Ecole polytechnique et membre de l'Académie

des sciences, qui publie et commente dans les *Comptes-rendus* la note de Sarasin et de la Rive une semaine plus tard, donne la clé d'une telle attitude. Ce sont « *les conséquences théoriques que M. Hertz a tirées de ses expériences* » qui le choquent. Pour lui, la bonne démarche scientifique est décomposée en plusieurs étapes, conduites par deux groupes d'acteurs : les expérimentateurs et les mathématiciens. Les premiers doivent mettre en évidence puis étudier, sous toutes ses formes et sans préjugé théorique, un phénomène physique. Ce n'est qu'ensuite que les seconds sont habilités à construire des théories. Or, ce n'est pas du tout la démarche suivie par Hertz : au milieu du gué, il « se convertit »⁽³⁾ à Maxwell, sans que le phénomène qu'il a mis en évidence soit clairement circonscrit expérimentalement.

Du travail des deux Genevois, Cornu tire en effet la distinction de deux hypothèses faites par Hertz : la première, fondamentale, est que l'excitateur produit une oscillation de période fixe, déterminée par la construction du dispositif (Cornu, refusant de se prononcer, utilise le terme d'*ébranlement*, plus indéterminé que onde ou oscillation). La seconde hypothèse tient au constat concernant l'état électrique des fils induits, qui, ajoute Cornu, présentent selon Hertz une périodicité apparente : des nœuds et des ventres. Compte tenu des résultats obtenus à Genève, poursuit Cornu, ou bien la première hypothèse est fautive et cela est « *extrêmement grave pour la théorie de M. Hertz* », ou bien c'est la seconde qui est erronée, et l'on aurait un facteur V variable, ce qui est absurde étant

3 – L'expression est, pour la première fois, employée par Lodge dans *Nature*, en février 1889.

DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ

donné qu'il doit représenter une constante spécifique (la vitesse de propagation des ondes électriques).

Et Cornu de renvoyer, en conclusion, au type de pratique expérimentale des Suisses, la seule acceptable à ses yeux : « On voit qu'il est très prudent de procéder comme l'ont fait MM. Sarasin et de la Rive, c'est-à-dire d'étudier d'abord et avec précision la méthode expérimentale, très curieuse, imaginée par M. Hertz, avant de songer à la présenter comme une démonstration de l'identité de l'électricité et de la lumière ». Ce n'est donc pas par ignorance de Maxwell – Cornu est un des artisans de la traduction en français du *Traité* de Maxwell réalisée entre 1884 et 1889 –, ni pour un éventuel rejet des travaux théoriques du britannique qu'il respecte, mais pour des raisons de méthode qu'il critique sévèrement Hertz. Or Cornu, opticien-expérimentateur aguerri et de renom, est avant tout un « pur » expérimentateur et, à cette époque, sa conception de la preuve expérimentale est plus ou moins partagée par la plupart des physiciens de l'Académie et d'ailleurs.

Marcel Brillouin, maître de conférence à l'Ecole normale supérieure, nous offre un bel exemple de cette attitude. Un mois après Cornu, il adresse des critiques analogues mais plus précises : « Il paraît difficile de douter que M. Hertz ait réellement observé des oscillations électromagnétiques de quelques décimètres de longueur d'onde ; mais il est certain que les physiciens qui essaient de répéter ses expériences réussissent rarement à produire des ondes aussi courtes... » Moins à cheval sur les principes méthodologiques, il reconnaît à Hertz la légitimité de sa « vérification » de Maxwell, mais il la trouve plus qualitative que quantitative : « M. Hertz a bien fait de multiplier les observations de tout genre dès qu'il a su régler son excitateur [...] et de vérifier ainsi de la manière la plus étendue, au moins au point de vue qualitatif, les prévisions de Maxwell ». Brillouin

critique donc Hertz pour son manque de précision, de détails concernant les dispositifs qu'il utilise : « Il serait bon, habile comme il a dû le devenir, qu'il précisât tous les détails de construction nécessaires pour rendre facile la reproduction de ses expériences ».

Ses critiques s'enracinent dans une interprétation originale des articles de Hertz. S'appuyant sur une analogie entre excitateur d'ondes électriques et orgues, Brillouin considère que les rôles respectifs de la bobine (analogue au réservoir d'air) et du dispositif primaire (qui joue le rôle du tuyau) ne sont pas clairs. Analogie qui lui fait souligner l'importance du savoir-faire, de la dextérité des « facteurs d'orgues » et qui conduit Brillouin à demander à Hertz de la méthode : « Il y a longtemps déjà que les facteurs d'orgues savent rendre les sons du tuyau intenses et purs [...] ce que M. Hertz sait certainement faire, mais par adresse plutôt que par méthode ».

En résumé, mise à part la démonstration enthousiaste et publique de Joubert, les Français ne paraissent pas, au printemps 1890, trouver dans les articles de Hertz ce qui leur semble indispensable pour faire preuve. On voit même Cornu mettre en doute, au nom de ses propres critères, la qualité du travail expérimental de Hertz.

POINCARÉ INTERPELLE HERTZ

En France, cette levée de boucliers culmine avec la discussion critique d'Henri Poincaré. Ce mathématicien, titulaire de la chaire de physique mathématique de la Sorbonne, avait déjà, entre mars et juin 1888, exposé les principaux résultats de Maxwell. Sa lecture du *Traité* soulignait la très grande proximité, du point de vue des

formalismes mathématiques, entre théories mécaniques de l'éther lumineux et théorie électromagnétique de la lumière. Son second cours d'*Electricité et optique* est consacré, entre mars et juin 1890, à la comparaison des formalismes des diverses théories électrodynamiques (Ampère, Weber, Helmholtz, Maxwell) et à l'investigation théorique des expériences de Hertz.

Poincaré reproduit les calculs et discussions concernant les explorations de Hertz. Toutefois, le manuscrit

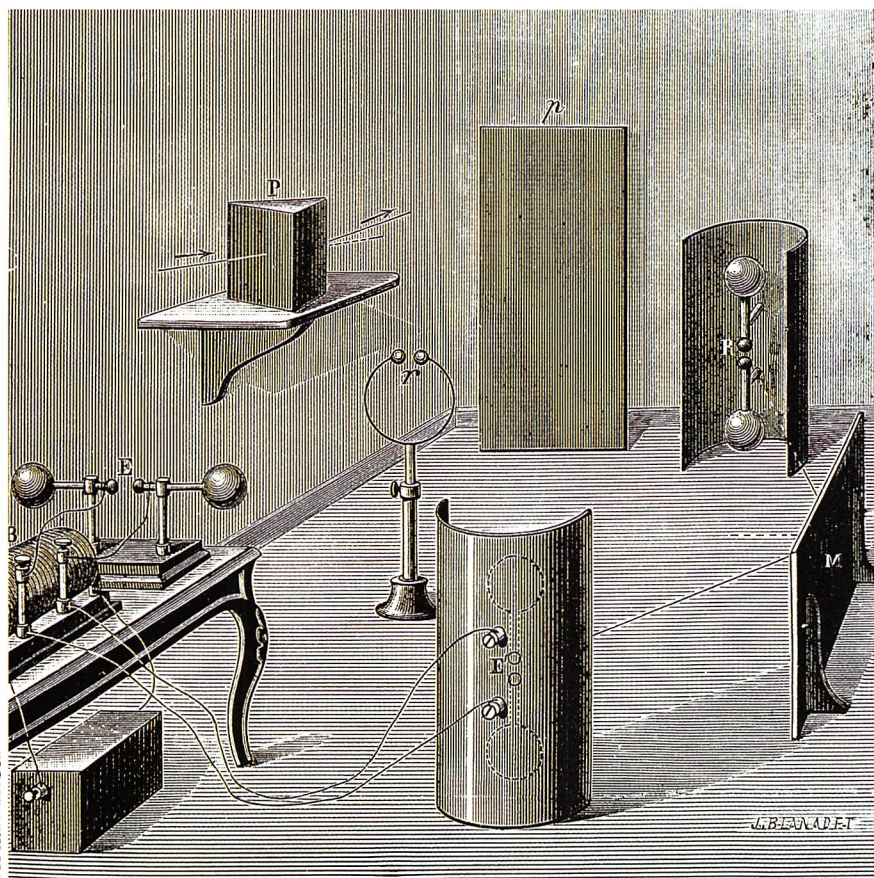


Henri Poincaré

édité date de la fin de 1890 et, par rapport au cours et aux points de vue des premiers mois de l'année 1890, il comporte de nombreuses mises au point ou ajouts.

Dans un premier temps, ce cours se traduit en fait par une note publiée en août 1890 aux *Comptes-rendus*. Poincaré y relève « l'erreur de calcul » de Hertz, déjà mentionnée plus haut : dans le calcul de la capacité de l'excitateur, elle entraîne un facteur $\sqrt{2}$ pour la longueur d'onde. Pour la vitesse de

DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ



Les travaux de Hertz trouvent rapidement un écho dans les ouvrages de vulgarisation scientifique. Dès 1891, le livre d'Emile Desbeaux, *Physique Populaire*, publié par Flammarion, relate en détail ses expériences avec dessins et citations à l'appui.

« même expérience » en mai 1889 un inter-nœud de 3 mètres. D'où la question de Poincaré : « *Toute considération théorique mise à part, il y a lieu de s'étonner de voir des expériences exécutées dans des conditions en apparence identiques donner des résultats aussi divergents* ». Dans sa réponse publiée par Poincaré, Hertz avance deux éléments qui ne semblent pas le convaincre lui-même, tant la différence est énorme. De toute façon, la question restera sans réponse, en partie parce que la situation va être considérablement transformée.

L'OUVERTURE D'UN DOMAINE DE RECHERCHE

Dès avant la note de Poincaré et sa question subséquente, les articles de Sarasin-de la Rive et de Cornu produisent un véritable électrochoc. En l'espace de quelques mois, des travaux sont entrepris à Paris, à Vienne et dans diverses villes allemandes. La liste de ceux qui étudient le *phénomène de Hertz* s'allonge considérablement...

Les explications que les physiciens en donnent ne s'accordent pas. De son côté, Hertz continue sa trajectoire et, en interaction avec les maxwelliens britanniques, publie en 1890 deux articles théoriques importants sur l'électrodynamique des corps au repos et celle des corps en mouvement. En parachevant sa « conversion », ils donnent un poids décisif aux conceptions de Maxwell. Hertz ne publie alors nul travail expérimental. On peut s'en étonner, mais Hertz n'est plus à Karlsruhe. Depuis avril 1889, il occupe un nouveau poste à Bonn. Son installation dans ses nouveaux locaux n'est pas

propagation, cela aboutit à lui donner une valeur qui serait d'environ 300 000 km/s dans les fils et 420 000 km/s dans l'air. Poincaré s'exprime avec beaucoup d'égards vis-à-vis du savant allemand, mais le propos, ferme et beaucoup plus direct que celui de l'*addendum* alambiqué de Lodge – « *une erreur importante qui n'a pas, à ce que je crois, été encore signalée* » – vise, pensons-nous, à obtenir une explication publique de Hertz. Car il est peu probable que Poincaré ignore le texte de Lodge : le communiqué de l'Académie pour le prix La Caze fait explicitement allusion aux répétitions effectuées par Lodge, et la note de Cornu parle d'un « *calcul fondé sur des bases douteuses* ». Or Hertz n'a toujours rien dit publiquement sur cette erreur de calcul. Le caractère non spontané de la note de Poincaré nous paraît corroboré par le fait que, dans son livre publié en fin d'année, il insère

une partie de la lettre de Hertz en réponse à celle que Poincaré avait pris soin de lui adresser avant la publication aux *Comptes-rendus*.

Comment Poincaré, que l'on peut considérer ici comme le porte-parole des Français, pose-t-il le problème ? Hertz a trouvé deux vitesses (de l'ordre de 200 000 km/s pour la propagation dans les fils et 300 000 dans l'air), à l'issue de mesures et de calcul. Dans la formule utilisée $\lambda = V \cdot T$, la période T est calculée (avec une erreur) et λ mesurée (double de la distance entre deux nœuds consécutifs). Pour les mesures rapportées dans le premier article de mai 1888 et confirmées dans le second du même mois sur les interférences, Hertz trouve une distance inter-nœuds dans l'air de 4,8 mètres (correspondant, selon ses calculs, à une vitesse de 300 000 km/s). Or les deux Genevois, répliquant au plus près les travaux de Hertz, trouvent pour la



René Blondlot

sans problèmes comme il l'écrit à ses parents : « Dans le laboratoire, je fais un gros travail personnel pour remettre de l'ordre dans l'ensemble des appareils ; je veux aussi réaliser un inventaire complet. Il est douteux que je sois remercié pour cela, mais ce genre de choses doit

être fait au moins une fois tous les vingt ans, et comme je pense rester ici longtemps, autant le faire tout de suite. »

A Paris, Poincaré croit qu'un test expérimental peut être décisif pour choisir entre les formalismes de Helmholtz et de Maxwell. Il n'est probablement pas étranger à l'investissement de son ami René Blondlot dans cette direction de recherches. Cet expérimentateur confirmé, dont l'épisode des rayons *N* a terni quelque peu une réputation solide et justement renommée d'expérimentateur de premier plan, s'était engagé dès 1888 dans l'étude du phénomène mis en évidence par Hertz en 1887 : l'action des rayons ultraviolets sur la production des étincelles. Poursuivant sa propre logique de recherche, il utilise en 1891 les oscillations de Hertz pour la détermination de la constante diélectrique du verre. La singularité de son dispositif, affirme-

t-il, tient au fait qu'il parvient à éviter, pour le calcul de la période, l'emploi de la formule de Thomson ($T = 2\pi\sqrt{LC}$), jugée douteuse. C'est dans le même esprit qu'il entreprend, fin 1891, ses mesures de propagation dans les fils.

ASSURER LA CERTITUDE D'UN PHÉNOMÈNE DÉJÀ MIS EN FORME

Si certains des physiciens allemands questionnent systématiquement le *phénomène de Hertz*, allant jusqu'à mettre en cause l'existence d'ondulations régulières, les voies empruntées par Blondlot et les deux Genevois sont bien différentes. Comme pour leur premier travail de 1889, Sarasin et de la Rive cherchent systématiquement à reproduire, de façon la plus précise possible, les dispositifs et conditions expérimentales de Hertz. Ils annoncent qu'ils ont trouvé, à l'aide d'interférences, une vitesse de propagation dans l'air analogue à celle de la lumière. Quant à Blondlot, tout en épousant la méfiance française, il se positionne comme celui qui va trancher.

Certes, Hertz a établi expérimentalement l'existence des ondulations électromagnétiques, assure Blondlot, mais il « a été, comme on sait, moins heureux lorsqu'il a cherché à démontrer que leur vitesse de propagation dans l'air est précisément égale à la vitesse de la lumière ». Blondlot admet donc le cadre interprétatif de Hertz, mais il doute de ses mesures expérimentales pour deux raisons : d'une part, l'existence de la résonance multiple, mise en évidence par Sarasin et de la Rive, « a, comme l'a montré Cornu, rendu incertain le principe même de la méthode employée par Hertz » ; d'autre part, Poincaré a signalé l'omission du facteur $\sqrt{2}$. Blondlot n'affiche pas davantage de confiance pour certains de ceux qui ont tenté des répliques. En conséquence, il soutient que « la question restait donc entière quand j'ai

**Vous êtes concerné par l'enseignement
des Sciences Physiques**

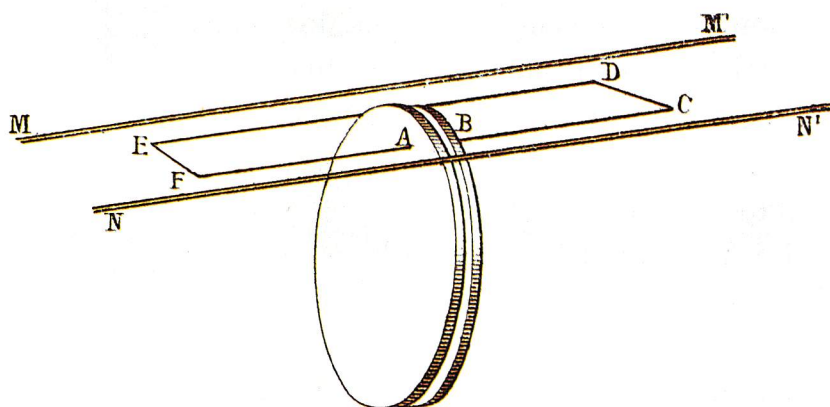


Association des professeurs
de Physique et de Chimie

**Adhérez à l'Union des Physiciens
Abonnez-vous à son bulletin**
(Dix bulletins par an)

Renseignements : U.d.P.
44, boulevard Saint-Michel - 75270 PARIS Cedex 06
Tél. : (1) 43.25.61.53 - Fax : (1) 43.25.07.48.

DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ

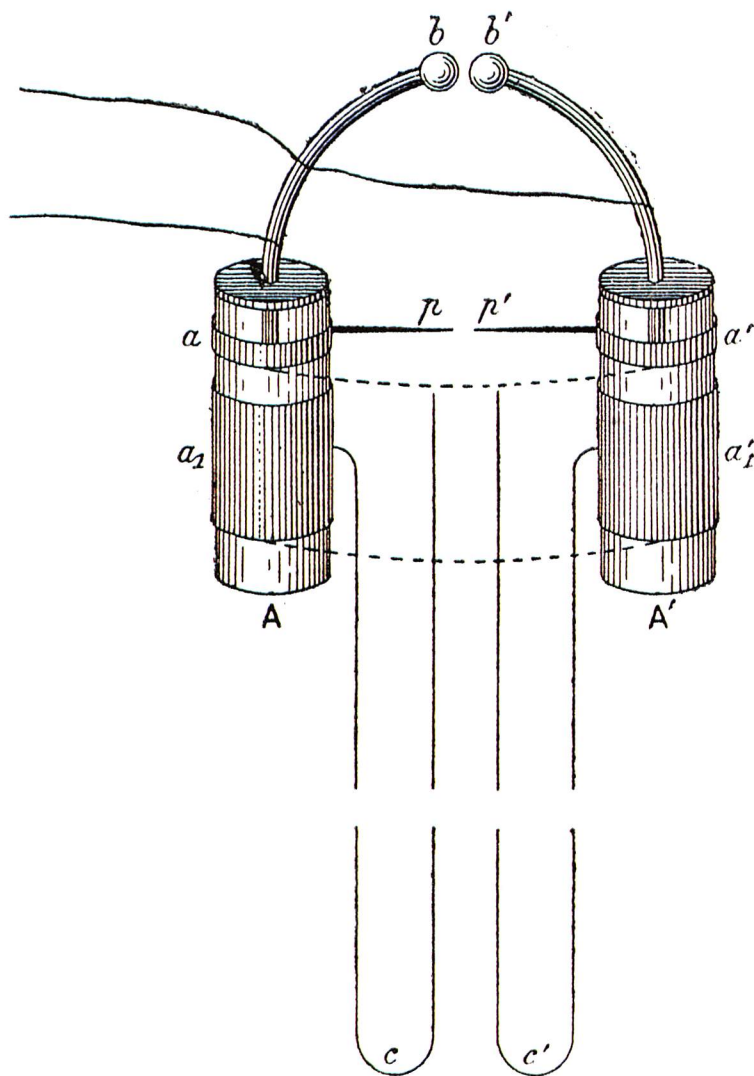


entrepris le présent travail ». Sa contestation porte précisément sur la détermination de la vitesse le long des fils.

Dans ses expériences réalisées fin 1891 et publiées en janvier 1892, Blondlot utilise deux excitateurs : le premier est analogue à celui de Hertz et le second est un dispositif de sa conception. Ce dernier est construit à l'aide d'un condensateur et de fils électriques, deux éléments considérés comme bien maîtrisés. Des armatures circulaires de 12 cm de diamètre, partent deux fils de cuivre, en forme de cercle de deux mètres de diamètre, terminés par un éclateur dont les deux boules sont reliées à une bobine d'induction. Le condensateur se charge puis se décharge de façon oscillatoire. Un fil circulaire, de diamètre légèrement inférieur au précédent et placé à l'intérieur du primaire, se prolonge par deux fils longs et parallèles, entre lesquels est placé le résonateur.

Les avantages escomptés par rapport au dispositif de Hertz sont, assure Blondlot, multiples : une intensité rayonnée beaucoup plus grande, une étincelle toujours oscillatoire, une variabilité aisée de la période (il suffit de modifier la distance – environ 1 cm – entre les deux plaques du condensateur) et l'absence de charge électrostatique dans les fils (provoquée dans le dispositif de Hertz par les deux plaques de l'excitateur). De plus, les deux longs fils sont déformés pour épouser très précisément la forme du résonateur placé entre eux : cela

Pour supprimer les plaques de l'excitateur, Blondlot fait appel à un fil circulaire de 2 m de diamètre. Celui-ci est coupé, d'un côté par un éclateur branché sur la bobine et, de l'autre, par un condensateur ($\alpha \beta$). Le secondaire (un cercle identique, en pointillés), placé sous le primaire, se prolonge par deux longs fils parallèles M et N. Le petit résonateur (en haut), installé entre les fils, est construit avec les mêmes éléments, condensateurs et fils, que la théorie permet, selon Blondlot, de maîtriser.



Les étincelles produites par la décharge des condensateurs éclatent selon deux chemins. L'une d'entre elles est directement produite entre p et p'; l'autre parcourt les fils. La mesure du temps entre les deux étincelles correspond à la propagation le long des fils.

de toute théorie de la résonance ».

Malgré sa rhétorique (« des expériences minutieuses »...), il semble pourtant que Blondlot ne soit pas satisfait de son travail de 1892. Comme bon nombre de ses collègues français, il croit à la pure détermination expérimentale. Et il annonce l'avoir réalisée l'année suivante : son travail, qu'il publie en 1893, paraît marquer l'aboutissement de cette série de recherches et a un fort impact en France.

Le dispositif est tout à fait nouveau. Il permet de faire éclater des étincelles produites par la décharge de condensateurs selon deux chemins. Dans le premier, la décharge emprunte quelques centimètres de fils pour atteindre l'éclateur ; dans le second, elle parcourt de longs fils électriques avant d'atteindre un éclateur analogue. La mesure du temps entre les deux étincelles correspond à la propagation le long des fils (voir schéma ci-contre).

Blondlot annonce qu'il a réalisé deux séries de déterminations en utilisant deux lignes téléphoniques de lon-

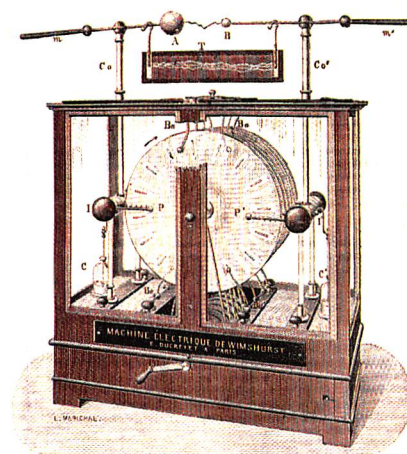
accentue l'intensité dans le résonateur et rend l'observation des étincelles plus aisée et les mesures plus précises (figure p. 85). Ne pouvant faire voyager le résonateur, Blondlot se sert d'un morceau de fil, ou pont mobile, qui relie les deux fils longs et rectilignes.

Le résonateur est construit des mêmes matériaux, fil de cuivre et condensateur. « Après avoir essayé infructueusement de mesurer T par l'expérience, j'ai tourné la difficulté en construisant le résonateur de telle façon que l'on pût déterminer à coup sûr sa période par un calcul s'appuyant sur les lois les mieux établies de l'électromagnétisme », assure-t-il. Faute d'alternative, il utilise la... formule de W. Thomson, qu'il avait précédemment critiquée, mais il l'applique au résonateur et non pas à l'excitateur. Il mesure

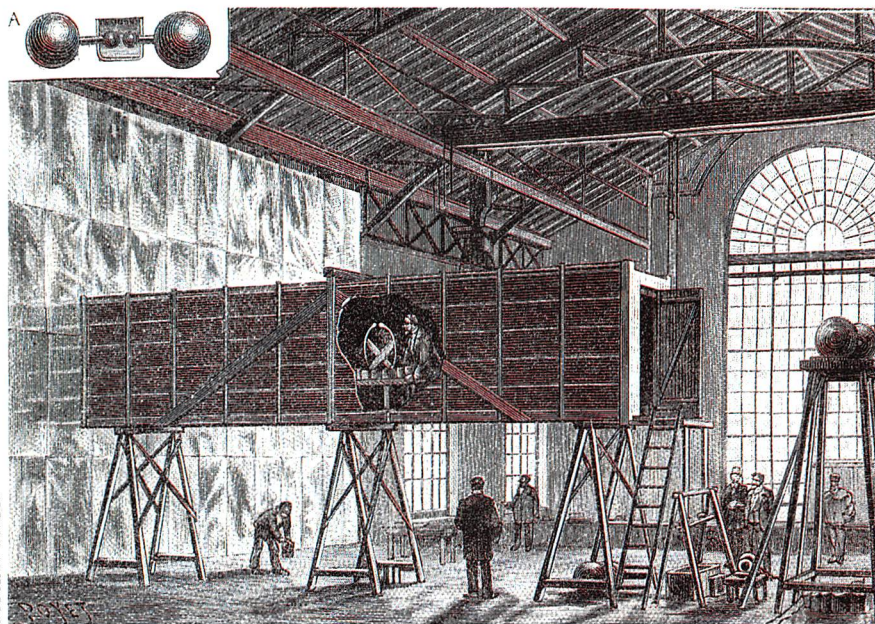
la capacité C à l'aide d'une méthode donnée par Maxwell dans son *Traité* et détermine la valeur de l'inductance L grâce à un calcul qu'il extrait du tome II d'*Electricité et optique* de Poincaré. La période T étant déterminée, il mesure la longueur d'onde au moyen de deux fils de cuivre rectilignes longs de 25 mètres.

René Blondlot, aidé par « trois collaborateurs habiles et dévoués » (A. Pérot, J. Colin et M. Dufour), réalise treize déterminations en variant les conditions expérimentales. Il utilise en particulier quatre résonateurs dont il fait varier la capacité. Blondlot obtient ainsi une moyenne de 297 000 km/s pour la vitesse de l'électricité dans les fils. Il affirme enfin que sa méthode « repose uniquement sur des faits expérimentaux : elle est indépendante

A partir de l'année 1892, les machines électrostatiques à influence autorisent la production d'oscillations de plus courtes longueurs d'onde.



DE LA RÉPLICATION DES EXPÉRIENCES DE HERTZ



On est loin du dispositif initial bricolé par Hertz : en 1893, Sarasin et de la Rive mettent en œuvre un matériel aux dimensions imposantes.

et qu'il considère comme vérifiée expérimentalement : des ondes électromagnétiques transversales se propagent dans le vide à la même vitesse que la lumière.

Dans les pays voisins, les réactions sont différentes. En Grande-Bretagne, par exemple, les résultats des Genevois et les critiques des Français n'ont guère d'écho. Lodge, après avoir réalisé un nouveau type d'excitateur ou oscillateur sphérique, oriente ses recherches vers des détecteurs nouveaux (œil électrique et cohéreur) : ils lui permettent, à la Royal Institution et à Oxford, des démonstrations publiques plus spectaculaires sur de plus grandes distances. Intimement persuadés de l'adéquation entre oscillations électriques et théorie électromagnétique maxwellienne de la lumière, les physiciens anglo-saxons considèrent comme secondaires les déterminations des vitesses.

Ainsi, ce qui fait preuve n'est pas la même chose chez les uns et chez les autres. A la suite de la publication en rafale des résultats de Hertz, les maxwelliens effectuent des démonstrations essentiellement qualitatives. Elles leur paraissent suffisantes à montrer des « rayons de force électrique » confirmant la théorie électromagnétique de la lumière de Maxwell. Des expériences nouvelles, faites dans une autre problématique expérimentale et interprétative, jointes à la mise sur la place publique de « l'erreur » de Hertz, rouvrent l'espace à la multiplication des expérimentations et des interprétations. Dès lors, pour la plupart des Français, c'est l'expertise d'un des leurs, R. Blondlot, assisté de Perot et Dufour, qui les convainc de l'existence d'oscillations électriques analogues à la lumière. Et pourtant, cela ne les conduit pas tous vers Maxwell... ■

guez différents (1029 et 1821 mètres). La valeur moyenne des résultats, obtenus en mesurant l'écart entre les deux points images de la plaque photographique, concerne quinze déterminations à chaque fois : les vitesses trouvées sont 296 400 et 298 000 km/s, soit une vitesse de propagation dans les fils du même ordre de grandeur que la mesure des vitesses dans l'air et celle de la lumière. L'intérêt de ce montage réside dans le fait qu'il obtient, insiste Blondlot, ce résultat par une méthode directe, ne faisant appel à aucune des théories en présence.

En cette même année 1893, Sarasin et de la Rive reproduisent avec succès l'expérience de réflexion des ondes sur un miroir de très grandes dimensions, ce qui, assurent-ils en accord avec Hertz, les met à l'abri de toute perturbation.

DE L'ART DE LA PREUVE

Les résultats de Blondlot et de ses collègues genevois semblent emporter la conviction des Français. Poincaré, dans son cours du second semestre 1892-1892 sur les oscillations électriques, entérine un nouveau tournant.

Considérant les expériences originales de Hertz, il ne les cite, précise-t-il, que pour mémoire : « Il faut bien remarquer que ces expériences donnent prise à la critique [...] Nous voyons, en somme, que les expériences de Hertz n'ont pas donné de résultat décisif au point de vue de la comparaison des vitesses de propagation dans les fils et dans l'air ». En revanche, lui paraissent décisives, pour leur portée théorique et pour leur exécution pratique, les récentes expériences de Sarasin-de la Rive et de Blondlot. Poincaré s'appuie d'ailleurs sur elles pour répondre aux objections de deux physiciens de Bâle, Hagenbach et Zehnder, qui persistent à ne pas trouver de caractère oscillatoire à la décharge par étincelle. On comprend les hommages appuyés qu'il rend à son ami Blondlot lors des séances de l'Académie.

Potier, qui fut le premier à présenter en France la théorie électromagnétique de la lumière en 1873, se décide, précisément en 1893, à l'introduire dans son cours à l'Ecole polytechnique. Fait encore plus frappant, c'est à partir de cette époque que P. Duhem, violemment hostile aux théorisations de Maxwell, admet l'existence de ce qu'il appelle « la première loi de Maxwell »

Les précurseurs de la TSF

Entre l'expérience de Hertz de 1888 et les bricoleurs amateurs de la TSF du début du XX^e siècle, quatre physiciens, un Anglais, un Français, un Russe et un Italien s'approprient les expériences et les instruments de Hertz pour élaborer un nouveau moyen de communication. Un dessein que Hertz lui-même n'avait pas envisagé.

Oliver Lodge, qui avait tenté lui aussi de vérifier la théorie de Maxwell, est l'un des premiers à utiliser les dispositifs de Hertz. En 1894, il fait fonctionner un appareil de télégraphie hertzienne sur une distance de plusieurs dizaines de mètres, en reprenant le détecteur d'ondes – un tube de limailles – du Français Edouard Branly. Ce dernier avait découvert, en 1890, qu'une étincelle jaillissant près d'un tube rempli de limailles métalliques rendait ces dernières conductrices.

Lodge associe le détecteur à un relais télégraphique commandant un électromécanisme de sonnerie dont le marteau, en frappant le détecteur, redonne aux limailles leur état précédent de non-conduction. La succession des deux états, conduction et non-conduction des limailles, reproduit le signal morse. Mais sans antenne mise à la terre, le système n'est pas viable. Lodge ne lui attribue d'ailleurs qu'une fonction pédagogique et n'a aucune intention d'en faire un véritable moyen de télécommunication.

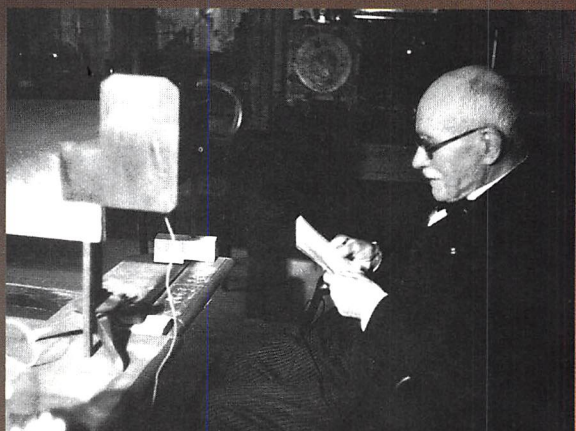
De son côté, en 1895, l'ingénieur russe, Aleksandr Popov équipe un détecteur d'orages d'une antenne de réception. La télégraphie sans fil lui semble envisageable, mais alors il déplore de ne pas disposer de sources d'oscillations assez puissantes. Combinant l'éclateur de Hertz, le détecteur d'ondes de Branly, et son antenne de réception, il parvient quand même à transmettre un message en morse, sans fil, sur une portée de 250 mètres. Les mots transmis : *Heinrich Hertz*.

En 1896, l'Italien Guglielmo Marconi crée le premier poste permettant les transmissions par télégraphie sur plusieurs kilomètres. Il emprunte le dispositif de Branly-Lodge et se dote d'antennes d'émission et de transmission similaires à celle de Popov. Sans tout à fait se douter de l'importance de cette innovation, il fabrique ainsi un dipôle terre-antenne de grande dimension qui a pour effet d'accroître la longueur d'onde et de là, de franchir les obstacles. La TSF est née.

A. R.



COLL. VIOLET

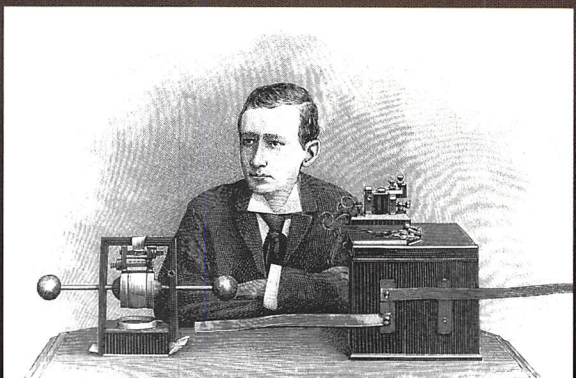


EDWAGES



J.L. CHARMET - INSTITUT D'ETUDES SAVES

Oliver Lodge, Edouard Branly, Aleksandr Popov et Guglielmo Marconi (de haut en bas)



L'ILLUSTRATION - SYGMA



L. DE SEVA - TAPABOR

Les bricoleurs des ondes hertziennes

Dès l'invention de la TSF, des milliers d'amateurs s'emparent de la technique nouvelle.

Après la Grande Guerre, les sans-

filistes, avides d'émettre et de recevoir à la fois, bricolent et perfectionnent les appareils radio. Ils laissent bientôt la place aux auditeurs et auditrices.

PAR CÉCILE MÉADEL

Le développement de la radiodiffusion doit au moins autant aux savants qui œuvrent dans les laboratoires qu'aux multiples acteurs qu'elle passionne. Ceux-ci exercent les professions les plus diverses : militaires, agriculteurs, télégraphistes, hommes politiques, physiciens, navigateurs, postiers, musiciens, industriels... Chacun a ses ambitions et le produit final sera une sorte d'hybride, né de confrontations et de compromis successifs. Le propos de cet article est de raconter l'émergence de la radio comme moyen de communication de masse : comment les techniques de transmission du son sont sorties des laboratoires et ont été transformées par les amateurs.

LES ATELIERS DE LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Parmi les nombreux scientifiques qui travaillent à améliorer les systèmes de transmission et de réception des signaux télégraphiques, Marconi joue un rôle de premier plan : outre ses innovations, il fait preuve d'une belle capacité à convaincre les hommes d'Etat, les journalistes et les financiers que cette technique a un avenir commercial.

Le nom qu'il lui donne, télégraphie sans fil, indique clairement la fonction qu'il lui assigne. Notons que d'ici peu, cette transparence viendra à s'opacifier dans l'anonymat d'un sigle, la TSF se confondant avec la radiophonie, aussi désignée à ses tout débuts comme *téléphonie sans fil*. Ce sigle restera. En France, on continuera d'« allumer la TSF » jusque dans les années 60...

Vers 1895, la télégraphie sans fil en est au stade des toutes premières démonstrations. Marconi, qui traverse les mers avec ses appareils, les réalise en Angleterre et aux Etats-Unis. Qu'a-t-il en tête ? Montrer que la TSF permet de dépasser les limitations du câble.

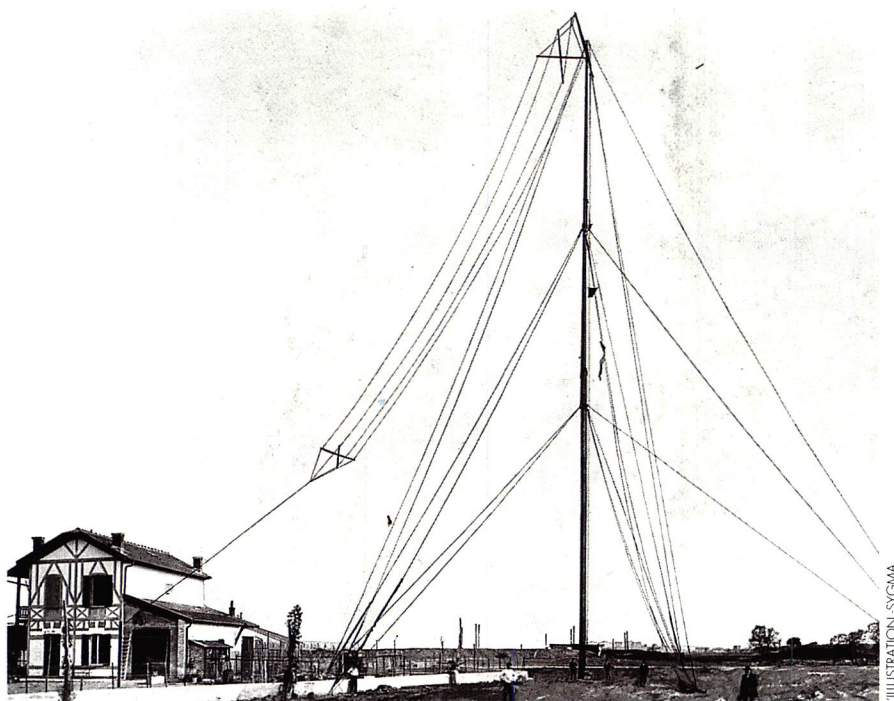


ILLUSTRATION SYGMA

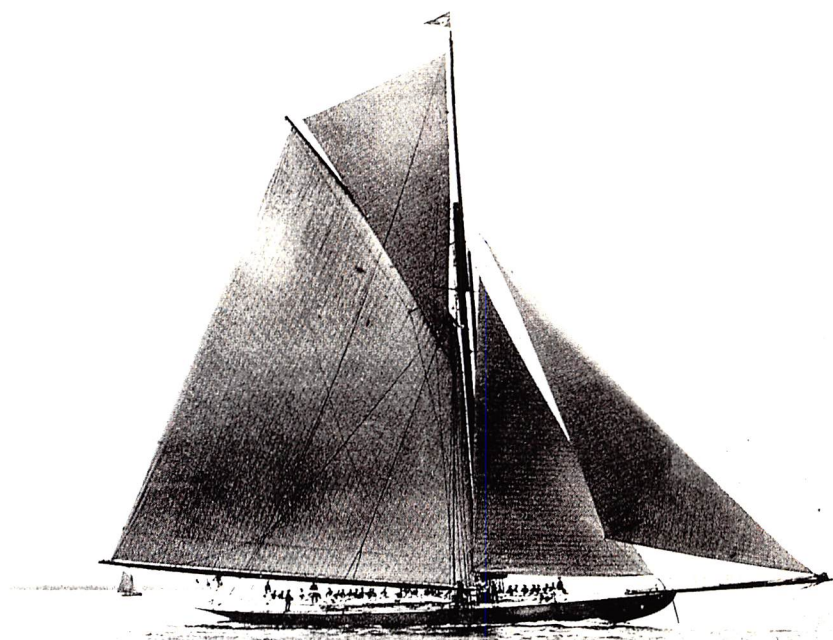


ILLUSTRATION SYGMA

Montrer que, grâce à elle, il est possible de communiquer, en morse, avec des navires en mer. Voire avec des populations habitant des régions situées hors de portée des réseaux télégraphiques. A une époque où de larges espaces américains restent très peu peuplés, où les grandes puissances européennes dominent des empires très étendus, l'idée intéresse.

Si l'on ajoute que le téléphone est encore une nouveauté, elle a également de quoi impressionner. Ainsi, lorsqu'en décembre 1901, Marconi

La construction des premières antennes sommaires (ici, à Biot) s'inspire de celle des mâts de navire. Coïncidence ? Marconi réalise son premier exploit en transmettant en temps réel les résultats de l'America Cup de 1899.

réussit à transmettre par voie hertzienne une lettre de l'alphabet, la lettre S, d'Angleterre à Terre-Neuve, l'exploit fait grand bruit. Il rappelle un autre succès retentissant, réalisé deux ans plus tôt, lors des épreuves de la coupe America. Embarqué sur un bateau

LES BRICOLEURS DES ONDES HERTZIENNES

d'accompagnement, Marconi avait alors réussi à transmettre, en direct et en morse, les résultats de chaque régates aux journalistes restés à terre.

Toutes ces premières firent des « unes », notamment dans les magazines populaires. Marconi y est présenté comme un héros planétaire dont l'invention relève du domaine du rêve. Citons ces quelques lignes publiées dans le magazine américain *World's Work* : « *Le triomphe de Marconi demeure un des plus remarquables et des plus fructueux qui aient jamais couronné l'imagination, la patience et le courage de l'humanité.* »

Pourquoi un tel écho ? Probablement les chroniqueurs voient-ils dans la TSF un moyen d'échapper aux malaises du présent et de s'évader dans un avenir idyllique. La TSF, écrivent-ils, construira un monde pacifié, mû par des intérêts communs : un monde authentiquement démocratique, où tous auront accès au savoir, où tout le monde communiquera avec tout le monde.

A défaut d'apporter au monde une paix universelle, cette couverture médiatique a un premier effet : la diffusion très rapide de la nouvelle technique hors des cercles spécialisés. Dès les premières années du siècle, des milliers de particuliers dans le monde se mettent à construire des appareils. En 1910, le magazine américain *The Outlook* écrit ainsi : « *Des centaines d'écoliers de tous les coins du pays ont été gagnés par cette vague de passion scientifique et, en copiant les appareils utilisés dans les stations de radio professionnelles, ils ont construit, avec toutes sortes de matériaux électriques de récupération, des équipements de télégraphie sans fil qui rivalisent parfois en efficacité avec les postes utilisés dans la marine.* ».

Depuis 1906, un nouveau dispositif est inséré dans le récepteur : le cristal de galène sert à redresser le courant alternatif, ce qui permet de restituer le signal sous forme sonore (d'abord à

travers une membrane téléphonique). La téléphonie sans fil est née. A la portée de toutes les bourses, la construction des appareils n'est pas très difficile. Mais leur utilisation est délicate car, sensibles au moindre choc, ils se dérèglent sans cesse. En outre, en l'absence de dispositif d'amplification, le signal d'écoute est très faible. Les amateurs passionnés se regroupent pour s'échanger tours de main, matériels et informations. De cette camaraderie, naissent des réseaux d'amitié plus formels, les « clubs de TSF » qui fleurissent peu à peu, d'abord aux Etats-Unis, puis, plus tard, dans tous les pays occidentaux.

La Grande Guerre élargit considérablement ce premier cercle d'initiés. Sous la pression de l'urgence, tout au long des hostilités, le paysage technique de la TSF ne cesse de changer. Ces transformations résultent, avant tout, de la mise en œuvre et des développements de la lampe triode, inventée vers 1906 par l'ingénieur américain Lee de Forest et améliorée par l'équipe française du général Ferrié. Elle présente de nombreux avantages. A l'émission, elle permet de produire des ondes beaucoup plus puissantes, et donc d'accroître la portée. En outre, en produisant des porteuses plus stables, elle facilite la modulation en basse fréquence de la voix humaine. A la réception, elle remplace d'une part la galène en tant que redresseur, et permet, d'autre part, d'amplifier les très faibles courants d'antenne. Mais elle implique une alimentation électrique autonome. Bref, avec elle, la TSF devient une technique beaucoup plus contrôlée, portant plus loin et offrant une meilleure qualité de réception de signaux sonores et vocaux.

Embarquée sur des avions ou sur des ballons, elle sert aux réglages d'artillerie. A bord des navires, elle aide à la lutte anti-sous-marine et aux sauvetages des nombreux équipages dont les bâtiments viennent d'être touchés. A terre, elle est utilisée pour amé-



ILLUSTRATION - SYGMA

La TSF se révèle indispensable lors de la Grande Guerre. Des milliers de soldats s'initient à la nouvelle technique.

liorer la vitesse des actions tactiques et mieux les coordonner. A l'arrière, se construisent de grandes stations d'émission (Tour Eiffel, Lyon-la-Doua) tandis que se développent des entreprises de matériel radioélectrique (SFR).

La guerre a aussi pour effet d'ajouter aux initiés déjà formés, dont la compétence est immédiatement mise à profit, des milliers d'autres qui apprennent à utiliser ces nouvelles techniques.

Revenus à la vie civile, nombre de ces derniers se transforment en sans-filistes, d'ores et déjà capables de bricoler à partir de tubes de carton, de fil de fer et de quelques autres pièces, un appareil récepteur ou émetteur. Un chiffre suffit à donner une idée du nombre de gens ainsi initiés : en France, dix-huit mille postes de TSF ont été fournis en quatre ans à la seule armée de l'air. Les compétences des industriels se sont aussi accrues. Après 1918, les usines, surtout anglaises et américaines, qui avaient développé en masse la production radiophonique pour les besoins militaires, se retrouvent à la tête de capaci-

tés qui excèdent très largement les possibilités d'absorption d'un marché encore à créer. Elles trouvent chez les amateurs des débouchés pour leurs produits...

QUE FAIRE DE LA RADIO ?

Comme beaucoup plus tard les cibistes, les premiers radioamateurs sont habités d'un désir : émettre et recevoir des messages, construire des liens sociaux, échanger des informations avec des inconnus à travers leur commune passion pour une technique. On peut même affirmer que le premier âge de la radio a prospéré sur un malentendu : la TSF est vue comme un téléphone à l'échelle mondiale. On recherche l'échange bidirectionnel, de poste à poste. L'obtient-on pour autant ? Certes, mais au prix d'interférences et en dehors de toute intimité, caractéristiques qui ne rebutent en rien les amateurs. Tout au contraire, elles « *agrandissent le champ des contacts potentiels de l'amateur et la variété des informations qu'il peut émettre et recevoir.* »

Cette vision n'est évidemment pas celle des utilisateurs institutionnels. Les compagnies de télégraphe considéraient comme inaboutie une technique ainsi ouverte à tout le monde. Pour Marconi, par exemple, dont les industriels du télégraphe financent les recherches, le plus grand défaut de la radio est cette possibilité de recevoir, en même temps, et dans de nombreuses localités, une même transmission.

Mauvais appareil de télégraphie, à quoi peut-elle bien servir ? Au début des années vingt, la question n'est pas encore tranchée. Les radiotechniciens envisagent de multiples applications : envoi de messages télégraphiques, de signaux de guidage pour les navires, de signaux horaires, de mesures scientifiques, etc. Cette liste d'usages publics ne semble pas exclure les usages privés pour la correspondance. Pour

l'heure, nul ne sait encore que, de toutes ces utilisations, c'est la retransmission de messages publics (informations et musique) qui va l'emporter. La conception même de station radiophonique est encore floue. On semble plutôt se diriger vers un service, comme la diffusion de radio-concerts ou de la météo, sans penser forcément à des programmes dans leur continuité, dans leur globalité. En 1922, le ministre de

l'Agriculture recommande par exemple aux préfets d'inciter les communes à s'équiper de postes à galène pour que les agriculteurs puissent recevoir le bulletin météo de la tour Eiffel.

En ces débuts de l'histoire de la radio, l'auditeur n'existe pas encore. Le sans-filiste se limite rarement à la seule audition. Le plus souvent, il émet et reçoit. Récepteurs et émetteurs sont en effet composés des mêmes élé-

C'EST A L'OREILLE ET A L'USAGE QUE L'ON RECONNAIT LA SUPÉRIORITÉ DES LAMPES

MAZDA RADIO

CONCERTS DE GALA MAZDA RADIO

confidées ondes

OFFERT PAR

MAZDA RADIO

29 RUE DE LISBONNE - PARIS

J.L. CHARVET

LES BRICOLEURS DES ONDES HERTZIENNES

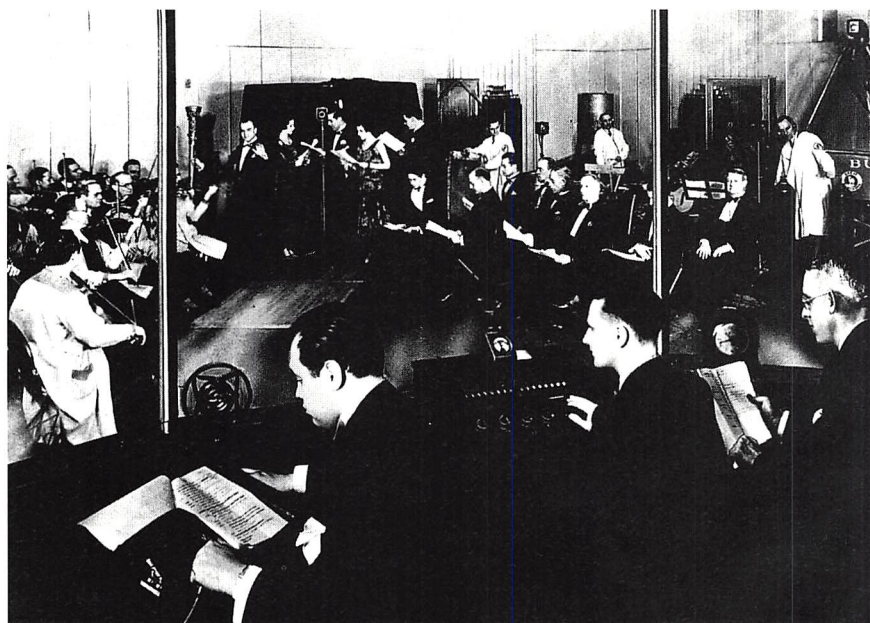
Ces autorisations ont certes pour but de permettre aux radioélectriciens, en émettant un signal de référence, d'étalonner les cadrans des récepteurs qu'ils construisent ou réparent. Mais rien, en fait, ne limite à ce signal particulier les émissions radioélectriques. C'est ainsi qu'un facteur d'instruments bordelais transforme dans un premier temps son récepteur en émetteur dit expérimental puis, dans un deuxième temps, son magasin d'instruments de musique en commerce radioélectrique. Son poste, sans qu'il touche à un seul écrou, n'est plus expérimental, mais devient officiel. Il crée ainsi la première station privée de Gironde : elle subsistera jusqu'aux lendemains de la Seconde Guerre mondiale.

Bien qu'en France, comme ailleurs, l'Etat ait limité l'accès aux ondes pour éviter le brouillage et la cacophonie, les amateurs ne renoncent qu'avec de grandes difficultés à produire leurs propres émissions. Au cours des années trente, les stations autorisées, privées ou publiques, ne cesseront de déplorer le brouillage de leurs ondes par des postes clandestins. L'idée même que les ondes appartiennent exclusivement à ceux qui ont reçu une autorisation administrative d'émission met très longtemps à s'imposer, comme en témoignent les très nombreuses plaintes enregistrées jusqu'à la guerre.

LA TSF, MAIS C'EST COMPLIQUÉ...

Au début des années vingt, les constructeurs et revendeurs de radio-électricité jouent la carte de l'amateur bricoleur. On peut certes acheter un poste tout monté, mais celui-ci ne sera rien d'autre que l'assemblage des différents éléments proposés par le radio-électricien. Dans les brochures et articles de journaux, on voit fleurir les thèmes du genre : « *la T.S.F., mais c'est très simple* », « *Montez vous-même votre poste...* »

C'est dans ce contexte que s'enra-



COLL. ANTOINE - EXPLORER

cine la définition, assez exclusive, du sans-filiste : « *Pour mériter le titre de sans-filiste, il ne suffit pas de faire l'acquisition d'un poste récepteur et d'écouter des concerts... Non ! Le véritable sans-filiste doit monter lui-même son poste, ce qui est à tout coup la meilleure manière de s'initier aux mystères de la science des ondes* », indique par exemple en 1922 la publicité d'un des très nombreux journaux spécialisés, *Le Haut Parleur*.

En vérité, si l'amateur veut se débrouiller avec son poste, il est préférable qu'il comprenne quelque chose à la technique de la télégraphie sans fil. En dépit des dénégations de fabricants qui ne cessent de répéter que leurs postes peuvent être réglés « *même par des enfants* » – voire des femmes... –, les opérations de mises au point et de réglage sont complexes : il faut vérifier l'assemblage des éléments, en particulier les écrous ⁽¹⁾, il faut contrôler l'antenne et la prise de terre, il faut actionner plusieurs manettes en même temps pour trouver la bonne longueur d'onde. Pour un poste à lampes, il faut aussi se préoccuper de l'alimentation

Dans les débuts de la TSF, l'idée d'une station émettant un programme continu n'est nullement évidente. La diffusion de concerts est un premier pas...

électrique qui, au début, ne peut se faire que par accumulateurs. Dans les années vingt, l'électrification de la France est bien loin d'être achevée. Et, même lorsque l'électricité arrive dans un foyer, son usage se limite le plus souvent à quelques ampoules d'éclairage. Les prises sont rares.

Ceux qui ne peuvent brancher leur poste sur un réseau électrique doivent faire appel à des accumulateurs. Or, ces derniers réclament un entretien régulier, doivent être nettoyés, mis en charge, alimentés en acide dangereux à manipuler... Les « accus » peuvent être remplacés par des piles, mais elles s'usent vite et coûtent cher. L'auditrice, détendue et rêveuse, que montrent les publicités des années 20 doit plutôt se transformer en technicienne attentive qui traque les sifflements stridents, craint les coupures d'alimentation ou risque les brûlures d'acide. De surcroît, il est rare de pouvoir s'abandonner à l'écoute d'un programme sans avoir à intervenir : fréquence qui se dérègle, parasites qui surviennent,

1 – Ce mode d'assemblage est fort utile pour pouvoir facilement changer les pièces.

Choisissez votre formule d'abonnement à SCIENCE & VIE

1ère FORMULE

NOUVEAU

PRELEVEMENT
Seulement 55 francs
par trimestre

LES 5 AVANTAGES DE MON ABONNEMENT " LIBRE DUREE " :

1 Une formule économique

SCIENCE & VIE est livré chaque mois à mon domicile, à un prix inférieur au prix de vente en kiosque.

2 Un prix garanti

En m'abonnant, je suis préservé des augmentations de prix pendant au moins un an.

3 Un paiement échelonné

Chaque trimestre, 55 francs seulement sont automatiquement prélevés sur mon compte.

4 Je choisis la durée

A tout moment, je me réserve la liberté de résilier mon abonnement par simple lettre, et les prélèvements seront stoppés aussitôt.

5 J'en profite même en vacances

Je fais suivre mon abonnement à SCIENCE & VIE sur mon lieu de vacances, sans aucun frais supplémentaire.

2ème FORMULE

PAIEMENT UNIQUE
220 francs*
1 an - 12 numéros



OUI

je m'abonne dès aujourd'hui à SCIENCE & VIE :

1ère FORMULE

je ne paierai que

55 francs par trimestre, par prélèvement sur mon compte bancaire ou postal, et je remplis l'autorisation de prélèvement ci-contre ainsi que la grille adresse ci-dessous.

2ème FORMULE

Je remplis la grille ci-dessous accompagnée de mon règlement par chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

ADRESSE DE RECEPTION DE MON ABONNEMENT

NOM _____

PRENOM _____

ADRESSE _____

CODE POSTAL _____

VILLE _____

*Au lieu de 276 francs prix de vente au numéro

NE TARDEZ PAS ET REMPLISSEZ AU PLUS VITE LE BULLETIN CI-CONTRE

BULLETIN D'ABONNEMENT A SCIENCE & VIE

à retourner à SCIENCE & VIE - 1, rue du Colonel Pierre Avia - 75503 Paris Cedex 15

Autorisation de prélèvement

1 TITULAIRE DU COMPTE A DEBITER

NOM _____

PRENOM _____

ADRESSE _____

CODE POSTAL _____

VILLE _____

2 COMPTE A DEBITER

ETABLISSEMENT _____ codes _____ GUICHET _____

N° DU COMPTE _____ CLÉ RIB _____

J'autorise l'établissement teneur de mon compte à prélever sur ce dernier le montant des avis de prélèvement trimestriels présentés par SCIENCE & VIE. Je vous demande de faire apparaître ces prélèvements sur mes extraits de compte habituels. Je m'adresserai directement à SCIENCE & VIE pour tout ce qui concerne le fonctionnement de mon abonnement.

Nom et adresse de l'organisme créancier
SCIENCE & VIE - 1, rue du Colonel Pierre Avia
75503 Paris Cedex 15

N° national d'émetteur : 415137

Comment bien remplir votre autorisation de prélèvement

- 1 : Indiquez les nom, prénom, et adresse du débiteur
- 2 : Indiquez les coordonnées de votre relevé d'identité bancaire ou postal
- 3 : Indiquez le nom et l'adresse de votre agence bancaire et joignez votre R.I.B.

3 Etablissement teneur du compte à debiter

ETABLISSEMENT _____

ADRESSE _____

CODE POSTAL _____

VILLE _____

DATE ET SIGNATURE OBLIGATOIRES :

OFFRE VALABLE
JUSQU'À FIN 1995 ET RÉSERVÉE
À LA FRANCE MÉTROPOLITAINE

OFFRE VALABLE UNIQUEMENT DANS LE CADRE D'UN PREMIER ABONNEMENT A SCIENCE & VIE

RCS PARIS B 572 134 773

CSV 30

LES BRICOLEURS DES ONDES HERTZIENNES

élément qui tombe en panne... Les programmes eux-mêmes prévoient des pauses destinées au réglage des récepteurs.

Les fabricants qui, dès les débuts de la radio, multiplient les annonces publicitaires, tiennent ainsi un double discours. Le premier, mettant l'accent sur la technique, insistant sur les qualités des différentes pièces proposées, flatte le goût et l'intérêt des bricoleurs. Puis, à mesure que l'on avance dans le temps, un second discours apparaît, fondé sur le plaisir : plaisir d'utiliser un poste en toute tranquillité, pour écouter – essentiellement – des radio-concerts.

De fait, il s'agit d'élargir le public – restreint – des amateurs éclairés. Et la concurrence s'intensifie. Dès 1928, les fabricants étrangers (hollandais, anglais, américains et allemands) arrivent en force sur le marché français. Or, ces derniers ont misé sur d'autres cartes que le développement d'un amateurisme technique éclairé.

Prenons l'exemple de la firme Philips. Elle arrive relativement tard sur le marché de la TSF, mais elle s'impose rapidement parmi les tout premiers constructeurs (jusque-là, elle s'occupait essentiellement d'éclairage). En commercialisant ses premiers postes en 1928, elle propose des récepteurs qui ne sont plus destinés à être ouverts, ni bricolés. Le démontage de ces postes est difficile et leur remontage quasiment impossible.

En France, les constructeurs nationaux restent très proches de leur public de bricoleurs, qu'ils conseillent et aident. Ils cherchent surtout à améliorer deux paramètres techniques : la sélectivité et la sensibilité. La sensibilité permet d'écouter des postes émetteurs éloignés ou peu puissants. La sélectivité permet d'affiner le choix de la longueur d'onde et d'éliminer les nuisances produites par les longueurs d'onde voisines. Un slogan publicitaire résume à lui seul ces deux améliorations : « Obtenez tous les postes mais un



J.L. CHARVET

Dans les années vingt, les fabricants vantent la facilité d'utilisation de leurs appareils pour s'adresser à la clientèle féminine. Le discours publicitaire est parfois loin de la réalité...

seul à la fois ». Où l'on voit bien que l'exigence qui nous semble aujourd'hui absolue, « l'auditeur n'écoute que ce qu'il entend », n'est pas alors de mise... Comme l'écrivait le journaliste Georges Armand Masson, « tous les amateurs savent que l'intérêt d'une émission est inversement proportionnel à la somme des difficultés qu'il a fallu vaincre pour la capter ».

À l'incitation de leurs concurrents étrangers, les constructeurs français se mettent à penser à la clientèle potentielle des femmes. Ils modifient leur production pour lui plaire : la TSF se fait moins encombrante, quitte à perdre quelque peu de cette qualité sonore très recherchée (les hauts-parleurs intégrés sont plus petits). Les batteries disparaissent. Les commandes se simplifient : une pour le volume sonore, une pour la recherche des stations, une pour la sélection des gammes d'ondes. Le poste se fait meuble et cache ses entrailles. Au milieu des années 30, les accumulateurs sont quasiment enterrés et la présentation « Midget », c'est-à-dire

l'ensemble bloc contenant dans une même boîte récepteur, alimentation et haut parleur, devient le modèle de présentation généralisée.

LA FIN DES PIONNIERS

De la fin des années 20 à celle des années 30, le nombre de récepteurs en France passe de cinq cent mille à cinq millions. À la veille de la guerre, plus de la moitié des foyers français seront équipés d'un récepteur. La diffusion de la radio s'est effectuée avec une rapidité que peu d'objets culturels ont connue.

À la fin des années 20, les émetteurs ne jouent plus le même rôle. Leur puissance augmente considérablement. Car il faut lutter contre la présence grandissante des parasites, dont la première source est la distribution et la consommation d'électricité (2). Puis, les émetteurs s'éloignent : ils sont séparés des studios, ils sortent des villes. Les radioamateurs se retrouvent cantonnés – non sans difficultés, ni résistances – aux ondes courtes. Nombre des pionniers de la première heure se reconvertissent dans les radio-clubs, pour les plus férus de technique, voire dans les stations elles-mêmes où ils découvrent les affres et les délices de la programmation continue. En France, comme dans de nombreux pays, par leur bénévolat et leur passion, ils organisent et font vivre les « postes ».

Désormais, l'auditeur, supplantant le sans-filiste technicien et bricoleur, devient la figure dominante de la radio. Avec les années trente, émetteurs et récepteurs passent aussi au second plan. Ils s'effacent pour laisser la place aux programmes. Le cœur d'une station bat maintenant dans ses émissions. ■

2 – Avec les lignes à haute tension, les aspirateurs et les ascenseurs, le problème des parasites n'est pas minime. En 1935, le service de protection des auditeurs reçoit 57 000 protestations (pour environ trois millions de postes récepteurs payant la redevance).

Grands ingénieurs

NOUVELLE
COLLECTION
1996

Rudolf DIESEL

D'une idée
de nouveau moteur à
sa concrétisation

Aujourd'hui, près d'une voiture neuve vendue sur deux en France est équipée d'un moteur Diesel. Il porte le nom d'un ingénieur allemand né à Paris en 1858. Ce moteur, à la mise au point duquel Diesel passa toute sa vie ou presque, est né d'une analyse théorique du cycle de Carnot. Elle indiquait qu'il devait être possible d'obtenir un travail mécanique par la combustion spontanée d'huiles très stables portées à très haute pression. Mais de l'idée à sa traduction dans une machine capable de fonctionner, il fallut des années, scandées par d'innombrables problèmes techniques. Diesel ne vécut d'ailleurs pas les premières véritables applications de son invention. En 1913, il tomba du pont d'un paquebot qui l'emmenait en Angleterre : accident ou suicide ? Nul ne le saura jamais. Les CAHIERS DE SCIENCE & VIE vous font vivre le récit de cette invention.

Le premier
moteur diesel
construit
à Augsburg
(1893)

PHOTOS ROGER-VOLLET

LES CAHIERS
DE SCIENCE & VIE

DES HISTOIRES RICHES
EN DECOUVERTES

PARUTION LE 16 FEVRIER 1996

**VIVEZ
EN INTELLIGENCE
AVEC LE MONDE**

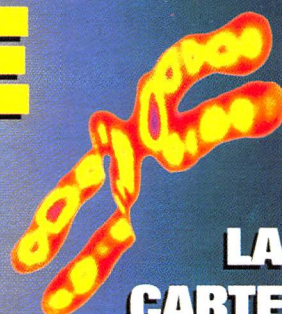
ÉDITION SPÉCIALE 1996

SCIENCE & VIE

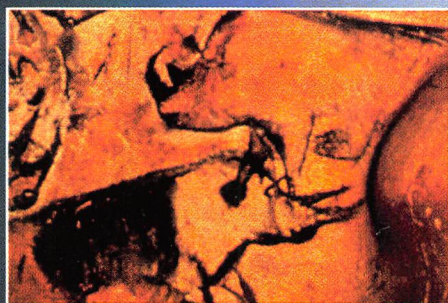
CES DÉCOUVERTES QUI CHANGENT LE MONDE



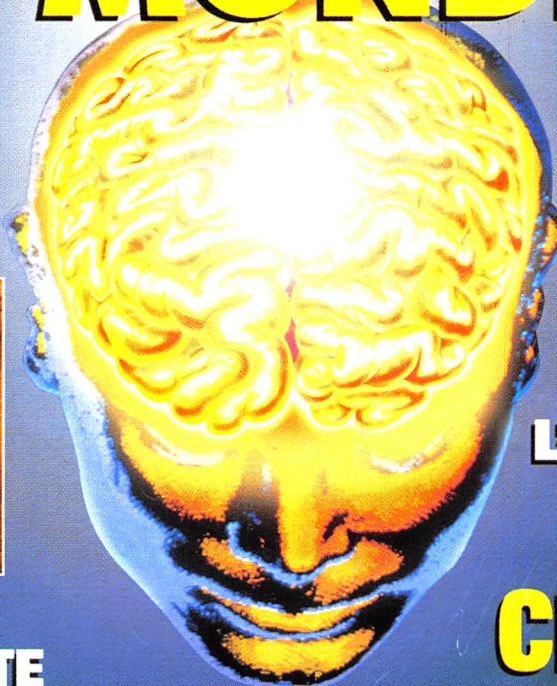
**DES PLANÈTES
EXTRA-SOLAIRES**



**LA
CARTE
DES GÈNES
HUMAINS**



**LA PLUS
ANCIENNE GROTTTE
PRÉHISTORIQUE**



**L'EXPLOSION
D'INTERNET**

CERVEAU
**La pensée et le
corps réunifiés**